

GENERALIDADES

TABLA DE CONTENIDO

Atencion a requerimientos de información adicional 1

acta 30 de 30 de junio de 2026 1

2 GENERALIDADES 1

2.1 ANTECEDENTES 1

2.1.1 Justificación de la modificación de licencia ambiental 1

2.1.2 Antecedentes Legales 2

2.1.3 Actividades de exploración a la fecha 6

2.1.4 Investigaciones previas (técnicas y socioambientales) 6

2.1.5 Investigaciones previas (Hidrogeología) 8

2.1.6 Determinantes ambientales 8

2.1.7 Permiso recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales 10

2.1.8 Superposición con otros proyectos 11

2.1.9 Marco normativo vigente 17

2.1.10 Antecedentes de seguimiento (actividades previas, marco licencia ambiental) 25

2.1.11 Antecedentes gestión social 27

2.2 ALCANCES 32

2.2.1 Alcance 32

2.2.2 Limitaciones y/o restricciones del EIA 33

2.3 METODOLOGIA 35

2.3.1 Metodología para la descripción del proyecto 35

2.3.2 Metodología Definición, identificación y delimitación del área de influencia 37

2.3.3 Metodología Caracterización medio abiótico 40

2.3.4 Metodología Caracterización medio biótico 208

2.3.5 Metodología Caracterización del medio socioeconómico 350

2.3.6 Metodología Caracterización Servicios ecosistémicos 361

2.3.7 Metodología Zonificación Ambiental 371

2.3.8 Metodología Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recurso naturales 373

2.3.9 Metodología Evaluación ambiental 411

2.3.10 Metodología Evaluación económica ambiental 438

2.3.11 Metodología Zonificación de manejo ambiental 448
2.3.12 Metodología Planes y programas 449
2.4 CONSULTORES 472

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Determinantes ambientales Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote 9
Tabla 2.2 Licencias ambientales superpuestas con área intervención y/o área influencia..... 12
Tabla 2.3 Figuras de ubicación de superposición de proyectos. 14
Tabla 2.4 Marco legal aplicable Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote 17
Tabla 2.5 Reseña de la inversión voluntaria adelantada por Gramalote 27
Tabla 2.6 Limitaciones y/o restricciones información Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote..... 33
Tabla 2.7 Componentes generales del proyecto y consultores técnicos en minería 36
Tabla 2.8 Determinantes ambientales Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote 37
Tabla 2.9 Imágenes y fotografías aéreas utilizadas en el análisis multitemporal..... 46
Tabla 2.10 Rangos de pendiente (s)..... 48
Tabla 2.11 Categorías de susceptibilidad por remoción en masa 49
Tabla 2.12 Valores de R en función de la pendiente y la forma del perfil de la ladera51
Tabla 2.13 Valores del parámetro D – Pendiente y densidad de drenaje..... 51
Tabla 2.14 Valores del parámetro V – Vegetación..... 52
Tabla 2.15 Categorías de susceptibilidad del Índice de Variabilidad (IV) 54
Tabla 2.16 Relaciones para categorizar el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)..... 54
Tabla 2.17 Relaciones entre variables para el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)..... 55
Tabla 2.18 Clasificación del coeficiente de compacidad y Gravelius y la categoría de susceptibilidad 56
Tabla 2.19 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)..... 56
Tabla 2.20 Susceptibilidad geomorfológica para zonificar avenidas torrenciales 57
Tabla 2.21 Calificación de susceptibilidad de las unidades de terreno a eventos torrenciales 58
Tabla 2.22 Tabla de calificación para las zonas geomorfológicas..... 58
Tabla 2.23 Susceptibilidad a avenidas torrenciales en las zonas geomorfológicas en el área de estudio 59
Tabla 2.24 Valoración del relieve..... 65
Tabla 2.25 Valoración de la presencia del agua..... 65

Tabla 2.26 Valoración de la cobertura terrestre 65
Tabla 2.27 Valoración de la fauna..... 66
Tabla 2.28 Valoración de la actividad antrópica 66
Tabla 2.29 Valoración de la calidad visual 66
Tabla 2.30 Valoración de fragilidad del paisaje 67
Tabla 2.31 Rangos de calificación de la fragilidad visual 68
Tabla 2.32 Clasificación de elementos discordantes..... 68
Tabla 2.33 Tamaño de la discordancia 69
Tabla 2.34 Categoría de correspondencia cromática 69
Tabla 2.35 Categoría de integridad escénica..... 70
Tabla 2.36 Escala visual 70
Tabla 2.37 Categoría de nivel de interés..... 71
Tabla 2.38 Criterios de evaluación para la determinación del atractivo escénico del paisaje 71
Tabla 2.39 Valoración para el atractivo escénico 73
Tabla 2.40 Valoración final para el atractivo escénico del paisaje..... 73
Tabla 2.41 Encuestas requeridas para el área de estudio por unidad territorial 74
Tabla 2.42 Criterio de Calidad visual para zonificación de la percepción del paisaje76
Tabla 2.43 Criterio de fragilidad visual para zonificación de la percepción del paisaje77
Tabla 2.44 Criterio para integridad escénica para zonificación de la percepción del paisaje 77
Tabla 2.45 Criterio de Escala Visual para zonificación de la percepción del paisaje 78
Tabla 2.46 Clasificación de la zonificación de la percepción del paisaje 79
Tabla 2.47 Coordenadas de las calicatas en Magna Sirgas Origen Nacional 82
Tabla 2.48 Coordenadas de las calicatas en Magna Sirgas Origen Nacional 84
Tabla 2.49 Parámetros y metodologías empleadas para medir los factores fisicoquímicos del suelo en laboratorio..... 87
Tabla 2.50 Parámetros y metodologías empleadas para medir elementos contaminantes..... 88
Tabla 2.51 Clasificación de la consistencia del suelo en campo 90
Tabla 2.52 Caracterización del tipo y de la clase de estructura del suelo..... 91
Tabla 2.53 Escala de clasificación del pH según el ICA..... 94
Tabla 2.54 Expresiones base para cuantificar los índices morfométricos de las cuencas 102
Tabla 2.55 Descripción del grupo de suelo 104

Tabla 2.56 Numero de Curva para el grupo hidrológico de la zona 105
Tabla 2.57 Clasificación de componentes del coeficiente de escorrentía 107
Tabla 2.58 Ecuaciones del tiempo de concentración 113
Tabla 2.59 Números de curva para diferentes usos del suelo según condiciones de humedad antecedente Tipo II. 116
Tabla 2.60 Coeficientes de escorrentía para el Método Racional para coberturas del Corine Land Cover 118
Tabla 2.61 Metodologías de regionalización para estimación de Qmin 122
Tabla 2.62 Valores de factor de frecuencia para cada periodo de retorno 122
Tabla 2.63 Categorías cualitativas de interpretación del índice de Aridez – IA 124
Tabla 2.64 Categorías del Índice de Retención y Regulación Hídrica 125
Tabla 2.65 Descripción Índice de Uso del Agua 125
Tabla 2.66 Descripción Categorías para IVH 126
Tabla 2.67 Valores de referencia de la rugosidad base (nb) según el material de lecho 130
Tabla 2.68 Ecuaciones para estimar rugosidad en función del diámetro 130
Tabla 2.69 Coeficiente n1 en función del grado de irregularidad de la sección 131
Tabla 2.70 Coeficiente n2 en función de la variación en la sección transversal del canal principal 131
Tabla 2.71 Coeficiente n3 en función del grado de obstrucciones presentes en el canal principal 131
Tabla 2.72 Coeficiente n4 en función del grado de obstrucciones presentes en el canal principal debido a la vegetación 132
Tabla 2.73 Coeficiente m de corrección por meandros en el tramo de estudio 132
Tabla 2.74 Puntos de muestreo efectivos de aguas superficiales y parámetros monitoreados 133
Tabla 2.75 Ubicación de puntos de muestreo no efectivos 135
Tabla 2.76 Procedimientos Internos de SGS para Mediciones en Campo 137
Tabla 2.77 Tipo de recipientes y preservación de muestras 137
Tabla 2.78 Relación de productos suministrados externamente 143
Tabla 2.79 Variables fisicoquímicas y bacteriológicas tenidas en cuenta para la determinación de los Índices de Contaminación del Agua (ICO's) 145
Tabla 2.80 Valor de los Índices (ICO's) 145
Tabla 2.81 Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables 146
Tabla 2.82 Valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) 146
Tabla 2.83 Identificación de puntos de muestreo de sedimentos 147

Tabla 2.84 Parámetros evaluados y métodos empleados..... 150
Tabla 2.85 Relación de productos suministrados externamente 151
Tabla 2.86 Resistividades reales de los sedimentos y rocas..... 157
Tabla 2.87 Clasificación de componentes del coeficiente de escorrentía..... 160
Tabla 2.88 Valoración de la vulnerabilidad con el método GOD 165
Tabla 2.89 Valoración de parámetros para el método DRASTIC 166
Tabla 2.90 Factores de ponderación para el método DRASTIC..... 167
Tabla 2.91 Grados de vulnerabilidad general del método DRASTIC..... 168
Tabla 2.92 Criterios de análisis para la evaluación de la amenaza sísmica 171
Tabla 2.93 Familias de discontinuidades identificadas para los análisis de cuñas de la Vía San Antonio (Operaciones) y la vía Presa de Colas Norte 177
Tabla 2.94 Factores de seguridad objetivo para los análisis de estabilidad de taludes179
Tabla 2.95 Resumen de periodos de retorno y valores de coeficiente sísmico horizontal para análisis seudo estático..... 181
Tabla 2.96 Factores de seguridad objetivo para la estabilidad de taludes en evaluación estática (traducción no oficial al español) 181
Tabla 2.97 Factores de seguridad objetivo para la estabilidad de taludes en evaluación suedoestática (traducción libre al inglés)..... 181
Tabla 2.98 Tipología y clasificación de vías 182
Tabla 2.99 Factores de seguridad objetivo para los análisis de estabilidad de taludes en vías 183
Tabla 2.100 Factores de seguridad objetivo para los análisis de fundaciones 184
Tabla 2.101 Factores de seguridad mínimo requeridos para los depósitos San Antonio y el Balzal de acuerdo con Hawley & Cunning (2017) 184
Tabla 2.102 Factores de seguridad mínimo requeridos para las presas de los sedimentadores El Banco y San Antonio (Hawley & Cunning, 2017) 184
Tabla 2.103 Clasificación de los depósitos de estériles San Antonio y El Balzal... 185
Tabla 2.104 Clasificación de los depósitos de estériles San Antonio y El Balzal... 185
Tabla 2.105 Estaciones utilizadas para la caracterización climatológica..... 186
Tabla 2.106 Estaciones utilizadas en la caracterización de la temperatura..... 188
Tabla 2.107 Estaciones para caracterizar la presión atmosférica 188
Tabla 2.108 Estaciones para caracterizar la precipitación 189
Tabla 2.109 Estaciones utilizadas para caracterizar la humedad relativa..... 190
Tabla 2.110 Estaciones para la caracterización de la velocidad y dirección del viento190
Tabla 2.111 Nubosidad según los rangos en octas..... 191
Tabla 2.112 Estación para la caracterización de la nubosidad..... 191

Tabla 2.113 Resumen métodos de muestreo y análisis para parámetros de calidad del aire – Equipos manuales 192
Tabla 2.114 Resumen métodos de muestreo y análisis para parámetros de calidad del aire – Equipos automáticos 192
Tabla 2.115 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo 204
Tabla 2.116 Ecuaciones utilizadas para calcular la posición sociológica relativa por especie de la regeneración natural 238
Tabla 2.117 Parámetros y tendencia de agrupación para la regeneración natural 241
Tabla 2.118 Estratificación vertical del hospedero establecida para epífitas vasculares y no vasculares 249
Tabla 2.119 Criterios para la selección de forófitos en el muestreo de epífitas 251
Tabla 2.120 Métricas del paisaje 257
Tabla 2.121 Calificación de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2 ... 271
Tabla 2.122 Elementos viales del proyecto (0SP, 2CPL y 2CPM)..... 274
Tabla 2.123 Calificación de la variable abiótica vías 275
Tabla 2.124 Elemento construcciones del proyecto (0SP, 2CPL y 2CPM)..... 277
Tabla 2.125 Calificación de la variable abiótica construcciones 278
Tabla 2.126 Calificación de la variable abiótica pendientes 280
Tabla 2.127 Elementos de la actividad minera (0SP, 2CPL y 2CPM) 281
Tabla 2.128 Niveles de ruido y fuentes de ruido de las actividades del proyecto Gramalote 283
Tabla 2.129 Calificación variable actividad minera..... 284
Tabla 2.130 Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala regional286
Tabla 2.131 Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala local 286
Tabla 2.132. Datos de desplazamiento diario disponibles para la especie E1 y E2300
Tabla 2.133. Cálculos de corredores de costo para la E1) *Leopardus pardalis* 301
Tabla 2.134. Cálculos de corredores de costo para la E2 Oedipomidas leucopus 301
Tabla 2.135 coberturas vegetales caracterizadas para el componente de fauna .. 304
Tabla 2.136 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de aves en el área de influencia del proyecto 306
Tabla 2.137 Puntos de muestreo del componente avifauna. 307
Tabla 2.138 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna..... 311
Tabla 2.139 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de mamíferos en el área de influencia del proyecto 314
Tabla 2.140 Puntos de muestreo del componente Mastofauna..... 315
Tabla 2.141 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna..... 331

Tabla 2.142 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de anfibios en el área de influencia del proyecto 333
Tabla 2.143 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de reptiles en el área de influencia del proyecto 333
Tabla 2.144 Transectos realizados para el muestreo de herpetofauna en el área de influencia del proyecto 334
Tabla 2.145 Puntos de observación realizados para el muestreo de herpetofauna en el área de influencia del proyecto..... 335
Tabla 2.146 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna..... 337
Tabla 2.147 Métodos de análisis de campo y laboratorio para las comunidades hidrobiológicas 339
Tabla 2.148 Valores del BMWP/Col y ASPT con su respectiva interpretación 344
Tabla 2.149. Puntos de muestreo para análisis toxicológico en temporada seca.. 345
Tabla 2.150. Puntos de muestreo para análisis toxicológico en temporada de lluvias345
Tabla 2.151. Métodos de análisis de campo y laboratorio para las comunidades hidrobiológicas 347
Tabla 2.152. Elementos de interés ambiental evaluados para análisis de toxicidad en peces 349
Tabla 2.153. Comparación de los límites máximos permisibles de metales pesados establecidos en la Resolución 122 de 2012 y la NTC 1443..... 350
Tabla 2.154 Resumen ejecución procesos participativos..... 353
Tabla 2.155 Clasificación de los Servicios Ecosistémicos, según MEA1287 (2005)362
Tabla 2.156 Caracterización de los SSEE del área de influencia del proyecto..... 363
Tabla 2.157 Encuestas requeridas para el área de estudio por unidad territorial .. 366
Tabla 2.158 Importancia - dependencia de SE Provisión..... 367
Tabla 2.159 Importancia - dependencia de SE regulación y soporte..... 367
Tabla 2.160 Calificación para los servicios de aprovisionamiento..... 368
Tabla 2.161 Criterios para la determinar la dependencia de las comunidades a los Servicios Ecosistémicos..... 368
Tabla 2.162 Criterios de calificación para la matriz de impactos y su correlación con los servicios ecosistémicos 369
Tabla 2.163 Criterios para la determinar la dependencia del proyecto a los Servicios Ecosistémicos ofertados por el área del proyecto 369
Tabla 2.164 Criterios para la determinar las tendencias de los Servicios Ecosistémicos ofertados por el área del proyecto 370
Tabla 2.165 Tendencias de los SSEE en el área de influencia del proyecto 370
Tabla 2.166 Rangos numéricos de sensibilidad 373

Tabla 2.167 Variables de estado del modelo 379
Tabla 2.168 Casos de estudios modelados 389
Tabla 2.169 Crecientes de diseño (años) asociadas a los tipos de obras de drenaje propuestos 391
Tabla 2.170 Receptores incluiros en los modelos de dispersión 398
Tabla 2.171 Actividades propias del territorio (Actividades sin proyecto) 413
Tabla 2.172 Actividades propias del proyecto (Actividades con proyecto) 420
Tabla 2.173 Matriz de impactos propia del territorio (Actividades sin proyecto) 423
Tabla 2.174 Matriz de doble entrada propias del proyecto (Actividades con proyecto)424
Tabla 2.175 Homologación de impactos 424
Tabla 2.176 Ficha para la calificación de los impactos calificados como críticos o severos 430
Tabla 2.177 Criterios, rangos e identificador para cuantificación de impactos 434
Tabla 2.178 Ejemplo de resultados de la matriz de importancia (total) 435
Tabla 2.179 Importancia del impacto / Rangos 435
Tabla 2.180 Análisis de internalización de impactos en la evaluación ex ante 443
Tabla 2.181 Interpretación indicador VPN..... 447
Tabla 2.182 Interpretación del indicador RBC..... 448
Tabla 2.183 Criterios considerados para la zonificación de manejo ambiental..... 449
Tabla 2.184 Formato ficha para elaboración de planes de manejo 450
Tabla 2.185 Planes de manejo ambiental objeto de actualización en la presente modificación de licencia 451
Tabla 2.186 Formato programas de seguimiento y monitoreo asociados a planes de manejo ambiental..... 452
Tabla 2.187 Formato programas de seguimiento y monitoreo componentes del medio ambiente 453
Tabla 2.188 Programas de seguimiento y monitoreo objeto de actualización en la presente modificación de licencia..... 454
Tabla 2.189 Verificación normativa para el diseño o ajuste del plan de cierre 466
Tabla 2.190 Lista verificación actividades para diseño del plan de cierre final 466
Tabla 2.191 Personal profesional encargado de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote 472

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS por Carvajal, 2011 45
Figura 2.2 Valores de calificación para el parámetro M..... 50
Figura 2.3 Variables que determinan la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales 52
Figura 2.4 Índices implícitos en el cálculo de IVET 53
Figura 2.5 Elementos estructurales del paisaje..... 62
Figura 2.6 Formato de descripción de suelos en campo 89
Figura 2.7 Esquema de matriz de decisión por conflicto de uso del suelo..... 96
Figura 2.8 Cuencas asociadas al área de estudio..... 97
Figura 2.9 Mapa de coberturas de suelo en el área de estudio..... 105
Figura 2.10 Esquema balance hidrológico 109
Figura 2.11 Distribución de la precipitación en el tiempo 114
Figura 2.12 Hidrograma Unitario Adimensional propuesto por el U.S. S.C.S 119
Figura 2.13 Hidrograma Unitario Adimensional propuesto por Williams & Hann ... 120
Figura 2.14 Curvas para estimar los parámetros n y B del Hidrograma unitario de Williams y Hann 121
Figura 2.15 Procedimiento para la generación de las manchas de inundación 129
Figura 2.16 Ubicación geográfica de puntos de muestreo efectivos y no efectivos.136
Figura 2.17 Ubicación geográfica de puntos de muestreo de sedimentos..... 148
Figura 2.18 Esquema Draga tipo Petersen..... 150
Figura 2.19 Esquema de la Configuración Electródica Tipo Schlumberger para Ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales – SEV..... 156
Figura 2.20 Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca 165
Figura 2.21 Enumeración de bancos y bermas de los taludes de corte..... 176
Figura 2.22 Estereograma de familias de discontinuidades 177
Figura 2.23 Ubicación de las estaciones para la caracterización climatológica 187
Figura 2.24 Ubicación del sonómetro según Resolución 0627 de 2006 202
Figura 2.25 Niveles de presión sonora..... 203
Figura 2.26 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo 205
Figura 2.27 Ecosistemas presentes en el área de influencia biótica..... 210
Figura 2.28 Leyenda de la figura de ecosistemas presentes en el área de influencia biótica. 211

Figura 2.29 Clasificación climática de Caldas-Lang para el área de influencia biótica. 212
Figura 2.30 Paisajes geomorfológicos presentes en el área de influencia biótica.213
Figura 2.31 Ambientes edafogenéticos (suelos) presentes en el área de influencia biótica. 214
Figura 2.32 Coberturas de la tierra presentes en el área de influencia biótica. .. 215
Figura 2.33 Unidad biótica presente en el área de influencia biótica. 216
Figura 2.34 Regionalización biogeográfica presente en el área de influencia biótica. 217
Figura 2.35 Diagrama metodológico para la construcción del mapa de ecosistemas terrestres..... 218
Figura 2.36 Cruce entre componente climático y componente geopedológico. .. 218
Figura 2.37 Cruce entre integración del componente climático y el componente geopedológicos con el componente de coberturas de la tierra. 219
Figura 2.38 Cruce entre integración de componente climático, geopedológicos y coberturas de la tierra con el componente de unidades bióticas y regionalización biogeografica. 219
Figura 2.39 Esquema de parcelas de caracterización 226
Figura 2.40 Esquema de parcelas de regeneración 227
Figura 2.41 Estratificación vertical del hospedero 249
Figura 2.42 Esquema de evaluación de briófitos, líquenes y anthoceros por parcela251
Figura 2.43 Gama de colores de acuerdo con los valores para la matriz de resistencia..... 263
Figura 2.44 Esquema de calificación del NDVI para clase de cobertura 266
Figura 2.45 Esquema de definición de umbrales para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle..... 267
Figura 2.46 Esquema de rangos de interpolación para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle..... 267
Figura 2.47 Esquema de procedimiento para la obtención del ráster de calificación de la variable NDVI 268
Figura 2.48 Representación esquemática del NDVI segmentado por tipo de cobertura..... 269
Figura 2.49 Función de atenuación para la calificación de variables abióticas 273
Figura 2.50 Traslape y magnitud de los impactos generados por las vías de comunicación terrestre..... 275
Figura 2.51 Representación esquemática de la variable vías 276
Figura 2.52 Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos 278

Figura 2.53 Representación esquemática de la variable construcciones 279
Figura 2.54 Representación esquemática de la variable pendientes..... 281
Figura 2.55 Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos 283
Figura 2.56 Representación esquemática de la variable actividades mineras..... 285
Figura 2.57 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario sin proyecto..... 287
Figura 2.58 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto licenciado 1CPL..... 288
Figura 2.59 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto para la modificación de licencia 2CPM..... 289
Figura 2.60 Nodos focales para la modelación regional y local..... 291
Figura 2.61 Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 292
Figura 2.62. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional..... 293
Figura 2.63. Red de conectividad realista para el análisis origen destino de conversión de unidades 300
Figura 2.64 Fases metodológicas para el análisis de los servicios ecosistémicos. 364
Figura 2.65 Protocolo de modelación de calidad de aguas 377
Figura 2.66 Entradas y Salidas de los sistemas a modelar en las quebradas con sedimentadores y el Río Nus 378
Figura 2.67 Modelos cinéticos y procesos de transferencia de masa..... 379
Figura 2.68 Esquema de balance de masas..... 382
Figura 2.69 Valores de emisión de la Guide du Bruit 1980 para vehículos ligeros y pesados en función de diversas condiciones de tráfico..... 401
Figura 2.70 Emisión en octava de banda para tráfico según el tipo de vehículo ... 403
Figura 2.71 Dominio modelo de ruido 404
Figura 2.72 Modelo digital de terreno. Construcción 405
Figura 2.73 Modelo digital de terreno. Año 2032..... 406
Figura 2.74 Modelo digital de terreno. Año 2033..... 407
Figura 2.75 Modelo digital de terreno. Año 2035..... 408
Figura 2.76 Vista 3D Estructuras de planta..... 409
Figura 2.77 Vista 3D Estructuras de planta. Vista en modelo CADNAA..... 409
Figura 2.78 Estadísticas de viento. C0 en el modelo CADNAA..... 410
Figura 2.79 Estructura general del proceso de evaluación económica ambiental en la etapa de Evaluación..... 440

Figura 2.80 Esquema del Valor Económico Total (VET) 445
Figura 2.81 Clasificación de las metodologías de valoración 445
Figura 2.82 Estructura de costos y beneficios..... 447
Figura 2.83 Análisis grafico realizado para verificar la correlación de la precipitación y el caudal con el fenómeno ENSO. 463

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1 Perfil de suelo mediante calicata 81

Fotografía 2.2 Perfil del suelo mediante calicata con coordenadas 81

Fotografía 2.3 Construcción del perfil del suelo a partir de los apiques con barreno 83

Fotografía 2.4 Perfil de suelo mediante calicata con sus respectivas muestras 84

Fotografía 2.5 Cajuela para la realización de punto corroborativo 85

Fotografía 2.6 Muestra fisicoquímica, Densidad aparente y agentes contaminantes del suelo 87

Fotografía 2.7 Determinación de la consistencia de suelo al tacto en campo 90

Fotografía 2.8 Determinación de la estructura del suelo 91

Fotografía 2.9 Identificación de color con la tabla de colorimetría Munsell con muestra de suelo húmeda 92

Fotografía 2.10 Descripción de perfiles del suelo por medio de una calicata 93

Fotografía 2.11 Uso de cilindro biselado en Calicata 93

Fotografía 2.12 Curva de infiltración con lámina de agua 93

Fotografía 2.13 Medida de la curva de infiltración con la medición 93

Fotografía 2.14 Equipos de medición empleados en medición de vibraciones 206

Fotografía 2.15 Medición, marcaje de fustales y muestras 224

Fotografía 2.16 Montaje y marcación de parcelas de caracterización 226

Fotografía 2.2.17 Montaje y marcación de parcelas de regeneración 228

Fotografía 2.18 Marcación y montaje del muestreo de guaduales y bambusales .. 229

Fotografía 2.19 Marcación de individuos fustales en veda 230

Fotografía 2.20 Marcación de individuos de regeneración en veda 231

Fotografía 2.21 Colección de muestras botánicas 232

Fotografía 2.22 Marcación de forófitos en campo 248

Fotografía 2.23 Malla de 400 cm^2 sobre el tronco y observación de morfoespecies para el muestreo de epifitas no vasculares 250

Fotografía 2.24 Marcaje y secado de las morfoespecie colectadas de epífitas no vasculares 250

Fotografía 2.25 Montaje y marcación de la parcela de otros hábitos 252

Fotografía 2.26 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de perifiton 340

Fotografía 2.27 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad planctónica 340

Fotografía 2.28 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos 341

Fotografía 2.29. Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de Peces.. 341
Fotografía 2.30. Colecta de ictiofauna para análisis toxicológico 347

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo 47
Ecuación 2.2 Susceptibilidad por remoción en masa 49
Ecuación 2.3 Densidad de drenaje 51
Ecuación 2.4 Índice de Melton 53
Ecuación 2.5 Índice de Variabilidad 53
Ecuación 2.6 Ecuación para el cálculo de densidad de drenaje 55
Ecuación 2.7 Coeficiente de compacidad de Gravelius 55
Ecuación 2.8 Prueba de Pettitte 98
Ecuación 2.9 Parámetros de la prueba de Pettitte 98
Ecuación 2.10 Estadístico de la prueba de Pettitte 98
Ecuación 2.11 Parametrización de la serie Zk 99
Ecuación 2.12 Cálculo del valor k para la prueba de Mann-Kendall 99
Ecuación 2.13 Calculo del estadístico S para la prueba de Mann-Kendall 99
Ecuación 2.14 Valor crítico de la prueba de Mann-Kendall 99
Ecuación 2.15 Cálculo del valor V para la prueba de Mann-Kendall 99
Ecuación 2.16 Cuantiles de la prueba de Grubbs y Beck 100
Ecuación 2.17 Recarga Potencial 103
Ecuación 2.18 Escorrentía superficial o Precipitación efectiva 103
Ecuación 2.19 Coeficiente de capacidad de almacenamiento 104
Ecuación 2.20 Coeficiente de escorrentía 106
Ecuación 2.21 Índice de Aridez 107
Ecuación 2.22 Escorrentía superficial 107
Ecuación 2.23 Recarga Anual 108
Ecuación 2.24 Balance hídrico respecto a la atmosfera 109
Ecuación 2.25 Balance hídrico respecto al suelo 109
Ecuación 2.26 Balance hídrico para el volumen de control 109
Ecuación 2.27 Balance hídrico a largo plazo 109
Ecuación 2.28 Caudal medio a largo plazo 110
Ecuación 2.29 Evapotranspiración por método de Cenicafé 110
Ecuación 2.30 Evapotranspiración real según Budyko 110
Ecuación 2.31 Evapotranspiración real por el método de Turc 110

Ecuación 2.32 Ecuación de transferencia de caudal 111
Ecuación 2.33 Factor de reducción de la precipitación en el tiempo 114
Ecuación 2.34 Ecuación de almacenamiento 116
Ecuación 2.35 Ecuación de abstracción inicial 117
Ecuación 2.36 Ecuación de precipitación efectiva 117
Ecuación 2.37 Caudal máximo estimado por el método racional 117
Ecuación 2.38 Relaciones de tiempo y caudal pico para el hidrograma unitario del U.S S.C.S. 119
Ecuación 2.39 Relaciones de tiempo y caudal pico para el método de Williams y Hann 120
Ecuación 2.40 Ecuación general de frecuencia 122
Ecuación 2.41 Caudal mínimo 122
Ecuación 2.42 Índice de Aridez (IDEAM I. , 2015) 124
Ecuación 2.43 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IDEAM I. , 2015) 124
Ecuación 2.44 Cálculo de la rugosidad de Manning 128
Ecuación 2.45 Coeficiente de escorrentía 159
Ecuación 2.46 Índice de Aridez 160
Ecuación 2.47 Escorrentía superficial 160
Ecuación 2.48 Recarga Anual 161
Ecuación 2.49 Cálculo de la vulnerabilidad. Método DRASTIC 167
Ecuación 2.50 Nivel equivalente resultante de la medición 199
Ecuación 2.51 Niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A 199
Ecuación 2.52 Estimación del DAP 233
Ecuación 2.53 Estimación del área basal 233
Ecuación 2.54 Estimación de volumen 234
Ecuación 2.55 Estimación de biomasa para bh-T 234
Ecuación 2.56 Cálculo de intervalos de clase con regla de Sturges 234
Ecuación 2.57 Cálculo de amplitud de intervalos 234
Ecuación 2.58 Estimación de la abundancia absoluta 235
Ecuación 2.59 Estimación de la abundancia relativa 235
Ecuación 2.60 Estimación de frecuencia absoluta 235
Ecuación 2.61 Estimación de la frecuencia relativa 235
Ecuación 2.62 Estimación de la dominancia absoluta 236
Ecuación 2.63 Estimación de la dominancia relativa 236

Ecuación 2.64 Estimación del IVI 236
Ecuación 2.65 Estimación abundancia absoluta para la regeneración natural 237
Ecuación 2.66 Estimación de abundancia relativa para la regeneración natural ... 237
Ecuación 2.67 Estimación de frecuencia absoluta para la regeneración natural ... 237
Ecuación 2.68 Estimación de frecuencia relativa para la regeneración natural 238
Ecuación 2.69 Estimación del índice de regeneración natural relativa 239
Ecuación 2.70 Estimación del índice de valor de importancia ampliado (IVIa) 239
Ecuación 2.71 Estimación del grado de sociabilidad 240
Ecuación 2.72 Estimación de la densidad observada 240
Ecuación 2.73 Estimación de la densidad esperada 240
Ecuación 2.74 Cálculo del índice de Shannon 241
Ecuación 2.75 Proporción de individuos encontrados en la i-ésima especie 241
Ecuación 2.76 Cálculo del índice de Simpson 242
Ecuación 2.77 Cálculo del índice de Margalef 242
Ecuación 2.78 Cálculo del índice de Menhinick 242
Ecuación 2.79 Cálculo del dendrograma de Jacccard 243
Ecuación 2.80 Cálculo para el coeficiente de mezcla 243
Ecuación 2.81 Cálculo del error de muestreo 244
Ecuación 2.82 Estimación abundancia absoluta para la epífitas y especies de otros hábitos 252
Ecuación 2.83 Estimación de la abundancia relativa para epífitas y especies de otros hábitos 252
Ecuación 2.84 Estimación de frecuencia absoluta para epífitas y especies de otros hábitos 253
Ecuación 2.85 Estimación de la frecuencia relativa para epífitas y especies de otros hábitos 253
Ecuación 2.86 Cálculo del índice de Shannon 254
Ecuación 2.87 Proporción de individuos encontrados en la i-ésima especie 254
Ecuación 2.88 Cálculo del índice de Simpson 254
Ecuación 2.89 Cálculo del índice de Margalef 255
Ecuación 2.90 Cálculo del índice de Menhinick 255
Ecuación 2.91 Cálculo del dendrograma de Jacccard 256
Ecuación 2.92 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 264
Ecuación 2.93 Formula de Probabilidad de Conectividad (PC) 295
Ecuación 2.94 Fórmula del delta de probabilidad de conectividad 295

Ecuación 2.95 Fórmula fracciones del delta de probabilidad de conectividad 296
Ecuación 2.96. Índice Integral de Conectividad (IIC) 297
Ecuación 2.97. Delta del índice Integral de Conectividad (IIC) 297
Ecuación 2.98. Formula de la correlación de la conectividad 298
Ecuación 2.99. Índice Conectividad Equivalente (EC) 298
Ecuación 2.100 Índice de Margalef 338
Ecuación 2.101 Índice de Simpson 338
Ecuación 2.102 índice de Shannon 338
Ecuación 2.103 Índice de Jaccard 338
Ecuación 2.104 Calculo índice Shannon – Weaver 343
Ecuación 2.105 Calculo índice Equidad o Uniformidad de Pielou (J') 343
Ecuación 2.106 Calculo índice Dominancia de Simpson (D) 344
Ecuación 2.107 Ecuación general de balance de masas 382
Ecuación 2.108 Balance térmico del sistema 383
Ecuación 2.109 Fuentes y sumideros para el oxígeno disuelto (OD) 383
Ecuación 2.110 Fuentes y sumideros para los detritos (POM) 384
Ecuación 2.111 Fuentes y sumideros para la DBO rápida (DBO5) 384
Ecuación 2.112 Sumidero para la DQO 384
Ecuación 2.113 Fuentes y sumideros para el nitrógeno orgánico 385
Ecuación 2.114 Fuentes y sumideros para el nitrógeno amoniacal 385
Ecuación 2.115 Fuentes y sumideros para los nitratos 385
Ecuación 2.116 Fuentes y sumideros para el fósforo orgánico 386
Ecuación 2.117 Fuentes y sumideros para el fósforo inorgánico 386
Ecuación 2.118 Sumideros para los patógenos 387
Ecuación 2.119 Fuentes y sumideros para el pH 387
Ecuación 2.120 Fuentes y sumideros para la alcalinidad 388
Ecuación 2.121 Sumideros para los SST 388
Ecuación 2.122 Estimación del DAP 395
Ecuación 2.123 Estimación del área basal 395
Ecuación 2.124 Estimación de volumen 395
Ecuación 2.125 Estimación de biomasa para bh-T 396
Ecuación 2.126 Estándar ISO 9613-2, propagación acústica 400
Ecuación 2.127 Cálculo del nivel sonoro equivalente NMPB-96 401
Ecuación 2.128 Nivel de potencia acústica por metro de vía 402

Ecuación 2.129 Nivel de potencia sonora para una fuente compleja 402
Ecuación 2.130 Balance de masas 462
Ecuación 2.131 Integración numérica en el tiempo de la ecuación del balance de masa 462

2 GENERALIDADES

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018 un Estudio de Impacto Ambiental "*es el instrumento básico, que, mediante un conjunto de información, les permite a las autoridades ambientales tomar decisiones sobre la viabilidad ambiental de los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental para su desarrollo*" (2018, p. 82). En este orden de ideas el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote presenta a la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Rios Negro y Nare CORNARE y a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, así como a los terceros, que el marco legal colombiano reconoce como partes interesadas en un proceso de licenciamiento, este documento denominado Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote para la toma de decisiones sobre viabilidad ambiental.

El documento fue elaborado para cumplir en contenido con los Términos de Referencia TDR-13 para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera 2016, y siguiendo la metodología propuesta en Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018. No obstante, tal como lo plantean ambos documentos, ajustados a las dinámicas del territorio y las características particulares del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

2.1 ANTECEDENTES

El Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote obtuvo licencia ambiental el 25 de noviembre de 2015 mediante Resolución 1514 de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. A partir de la fecha, el proyecto ha adelantado actividades previas con énfasis en el programa de reasentamiento.

A partir de agosto de 2024, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED, resuelve iniciar proceso de optimización minera y en paralelo iniciar los estudios ambientales para la solicitud de la modificación de licencia ambiental.

2.1.1 Justificación de la modificación de licencia ambiental

El Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote corresponde a una actividad minera que, por su escala y características técnicas se encuentra sujeta al régimen de licenciamiento ambiental de competencia nacional, conforme con lo establecido por el Decreto 1076 de 2015. De acuerdo con lo anterior, el proyecto minero cuenta con Licencia Ambiental, otorgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, mediante la Resolución No. 1514 de 25 de noviembre de 2016, modificada por la Resolución No. 309 de 29 de marzo de 2016 a través de la cual se resolvió el recurso de reposición interpuesto contra a la misma.; además modificada por la Resolución No. 782 de 8 de mayo de 2019, por solicitud del titular del instrumento.

Con posterioridad al otorgamiento de la licencia y su modificación, el avance en los análisis técnicos, operativos y territoriales evidenció la necesidad de ajustar el Plan de Trabajo y Obras (PTO), así como la disposición espacial de los componentes del proyecto. Dichos ajustes responden a la optimización de los diseños mineros y de infraestructura, lo que implica además cambios en el uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales y en la magnitud de los impactos ambientales significativos previamente evaluados y aprobados por la ANLA, sin que ello implique la generación de nuevos impactos ambientales, lo que de acuerdo con lo establecido en los numerales 1, 2, 3 y 4 del artículo 2.2.2.3.7.1. del Decreto 1076 de 2015 implica el trámite de solicitud de modificación de la licencia ambiental del proyecto.

Dichas modificaciones se enmarcan en los supuestos normativos aplicables a este tipo de trámite, asociados a la modificación de las condiciones del proyecto, obras y/o actividades, a la afectación y/o aprovechamiento de recursos naturales adicionales no contemplados inicialmente en el proyecto, a la variación en las condiciones de uso y/o afectación de los recursos naturales autorizados, a la modificación del área licenciada, así como a la modificación y/o devolución de permisos, y autorizaciones de intervención de áreas que no serán objeto de intervención por la optimización citada con anterioridad.

Es importante aclarar que, en términos de identificación de impactos, dado que los profesionales técnicos de las autoridades ambientales han trabajado en procesos de homologación, se asume la metodología propuesta por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, relacionado con el tema de impactos (ANLA, 2023). El documento incluirá no nuevos impactos sino la homologación de los declarados en el proceso de licenciamiento original con las denominaciones de impactos propuestos por las autoridades ambientales en una lista taxativa.

2.1.2 Antecedentes Legales

La Gobernación de Antioquia, mediante Resolución 040497 del 2 de mayo de **2012**, integró los títulos mineros: 2042, 6054, 6185B, 5917, 6194b, 6263, 7153, ICQ-0800631X y IFC-08021 en el Contrato de Concesión Minera 14292, de titularidad de la empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED.

Por su parte, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED, mediante escrito radicado No. 2041-E1-37462 del 27 de junio de **2012**, solicitó a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales —ANLA-, la expedición de los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental del proyecto para minería de oro a cielo abierto denominando GRAMALOTE.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, mediante oficio radicado No. 4120-E2-37462 del 4 de septiembre de **2012**, emitió los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental del proyecto GRAMALOTE.

GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED mediante solicitud presentada a través de la Ventanilla Integral de Trámites Ambientales en Línea VITAL, número 0200090008440715002, radicada con el No. 2015009086 del 23 de febrero de **2015**, presentó solicitud de licencia ambiental para el desarrollo de Proyecto de minería de oro a cielo abierto denominado GRAMALOTE.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA-, mediante Auto 728 del 26 de febrero de **2015**, dio inicio al trámite administrativo para la obtención de la Licencia Ambiental para el desarrollo del Proyecto de minería de oro a cielo abierto denominado.

El Procurador delegado para Asuntos Ambientales y Agrarios, Doctor Oscar Darío Amaya Navas, a través del radicado 2015019881-1-000 del 14 de abril de **2015**, solicitó la celebración de Audiencia Pública Ambiental en el trámite administrativo de solicitud de licencia ambiental para el Proyecto de minería de oro a cielo abierto denominado GRAMALOTE.

El director general de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare "CORNARE", Doctor Carlos Mario Zuluaga Gómez, mediante radicado 2015009086-1-001 del 15 de abril de **2015**, solicitó la celebración de Audiencia Pública Ambiental en el trámite administrativo de solicitud de licencia ambiental para el Proyecto de minería de oro a cielo abierto denominado GRAMALOTE.

Mediante Radicado número 2015019644-1-000 de 15 de abril de **2015**, los señores Gildardo Antonio Gómez Maya, identificado con la Cédula de Ciudadanía 71.171.185 de Cisneros - Antioquia, Representante Legal de ASOMICOPRO, Rubén Darío Londoño, identificado con la Cédula de Ciudadanía 71.688.538 y Elkin Jaramillo identificado con la Cédula de Ciudadanía 80.039.568, solicitaron ser reconocidos como terceros intervinientes, dentro del trámite administrativo de licenciamiento ambiental del proyecto GRAMALOTE.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, a través de Los oficios 2015009086-2-002 del 20 de abril de **2015**, 2015019881-2-001 del 15 de mayo de **2015** y 2015019644-2-003 del 6 de mayo de **2015**, respondió frente a las solicitudes de Audiencia Pública Ambiental, informando que las peticiones dieron cumplimiento a los requisitos señalados en el artículo 2.2.2.4.5.1 del Decreto 1076 de 2015 y que por lo tanto es procedente acceder al referido mecanismo de participación ciudadana.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales —ANLA-, mediante el oficio Radicado número 2015043824-2-000 del 21 de agosto de **2015** extendió invitación a la Audiencia Pública Ambiental del proyecto GRAMALOTE a llevarse a cabo el 25 de septiembre de **2015**, a la Gobernación de Antioquia, Defensoría del Pueblo, Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente, Defensoría del Pueblo Regional Antioquia, Procuraduría General de la Nación, Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, Procuraduría Ambiental y Agraria de Antioquia, Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare -CORNARE-, Personería Municipal de San Roque, Alcaldía Municipal de San Roque y terceros intervinientes Gildardo Antonio Gómez Maya, Rubén Darío Londoño Calle y Elkin Jaramillo.

La Reunión informativa llevada a cabo en el corregimiento de Providencia, municipio de San Roque, Antioquia, el 9 de septiembre de **2015**, inició a las 9 a.m. y terminó a las 5.30 p.m., a la cual asistieron un número aproximado de quinientas (500) personas, habitantes del corregimiento y veredas vecinas, en la cual se atendieron un aproximado de noventa y siete preguntas y dieciocho intervenciones del lideres comunitarios.

La Reunión Informativa realizada en el corregimiento de San José del Nus, municipio de San Roque, departamento de Antioquia, el 10 de septiembre de **2015**, inició a las 10:00 a.m. aproximadamente, a la espera de la comunidad, a la que acudieron alrededor de ciento treinta (130) personas y en la cual se atendieron un promedio de 34 preguntas y ocho intervenciones de lideres comunitarios.

La Audiencia Pública Ambiental dentro del trámite de Licenciamiento Ambiental del proyecto GRAMALOTE, tuvo lugar el 25 de septiembre de **2015** en las instalaciones del Coliseo Cubierto del municipio de San Roque, la cual inició la 9.00 a.m. a espera de La presencia de la comunidad, finalizando a las 4:55 p.m., de la cual se elevó el acta correspondiente la cual reposa en el expediente LAV0018-00-2015 del Proyecto.

Hace parte del expediente la Resolución número 112 -0919 del 19 de marzo de 2015, por la cual CORNARE autorizó el levantamiento temporal de veda para las especies vegetales relacionadas en acto administrativo, que se encuentran presentes en el área que se planea intervenir durante la fase constructiva del proyecto GRAMALOTE.

Que el Estudio de Impacto Ambiental, presentado por la empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED, y demás documentos que conformaron la solicitud de licencia ambiental global para el proyecto de minería de oro a cielo abierto denominado GRAMALOTE a llevarse a cabo en jurisdicción del municipio de San Roque, departamento de Antioquia, así como la información adicional presentada y los resultados de la Audiencia Pública Ambiental, fueron objeto de revisión y evaluación integral por parte del Grupo Técnico de Evaluación de esta Autoridad, el cual se pronunció en Concepto Técnico 6254 del 24 de noviembre de **2015**.

Una vez analizada la información presentada por la Empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED, - (número VITAL 0200090008440715002 -radicados 2015009086 del 23 de febrero de 2015 y 2015031450-1-000 del 16 de junio de 2015), el Concepto Técnico 112-0366 del 23 de febrero de 2015 emitido por la Corporación Autónoma Regional de los Rios Negro y Nare —CORNARE (radicado No. 2015010161-1-000 del 27 de febrero de 2015), el resultados de la Audiencia Pública Ambiental celebrada el 25 de septiembre de 2015 y la información verificada en la visita de evaluación efectuada al Proyecto); el equipo técnico del Grupo Interno de Minería de esta Autoridad Ambiental, emitió el Concepto Técnico No.

6254 del 24 de noviembre de **2015**, por el cual se decide la viabilidad del Proyecto GRAMALOTE a desarrollarse en el municipio de San Roque, departamento de Antioquia.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, mediante Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015, otorgó Licencia Ambiental Global a la empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED, para el Proyecto de minería de oro a cielo abierto denominando GRAMALOTE a desarrollarse en el área del Contrato de Concesión Minera 14292, ubicado en el municipio de San Roque, departamento de Antioquia.

Posteriormente, el 29 de marzo de **2016** la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales emite Resolución 0309 "por la cual se resuelve un recurso de reposición" y se ordena, entre otros a modificar el Artículo Primero de la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015, el cual quedará de la siguiente manera: ARTÍCULO PRIMERO. - Otorgar a la empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED., identificada con NIT. 900084407-9, Licencia Ambiental Global para el Proyecto denominado "GRAMALOTE" cuyo objeto es la explotación a cielo abierto y el beneficio de un yacimiento de oro y sus concentrados y de minerales de plata y sus concentrados, a desarrollarse en el área del Contrato de Concesión Minera No. 14292 ubicado en el municipio de San Roque, departamento de Antioquia, en los términos y condiciones que se establecen de manera subsiguiente."

El 6 de abril del **2017** mediante radicado 2017025192-1-000 ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, la empresa GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED en cumplimiento al parágrafo 1° del Artículo 2.2.2.3.7.1., del Decreto 1076 de 2015, realizó una solicitud de pronunciamiento sobre la necesidad o no de modificar la licencia ambiental otorgada mediante Resolución 1514 de 2015 para el desarrollo de unas actividades sobre las cuales existía duda si se requería modificar o no la licencia ambiental. Por medio de oficio **radicado 2017066535-2-000 del 22 de agosto de 2017**, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA dio respuesta a la comunicación en mención, en el sentido de indicar que las actividades relacionadas con movilidad de puntos de perforación, exploración avanzada, instalación de plataformas de perforaciones y operación del equipo de conminución menor para ensayos metalúrgicos a nivel de laboratorio que se describen en la solicitud se enmarca como cambio menor o ajuste normal dentro del giro ordinario de la licencia ambiental otorgada mediante Resolución 1514 del 25 de noviembre del 2015.

Paralelo a la ejecución de las actividades de reasentamiento, en **2018**, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED mediante solicitud presentada a través de la Ventanilla Integrada de Trámites Ambientales en Línea VITAL, con número 3800090008440718002 y radicación 2018045368-1-000 del 17 de abril de **2018** (VPD0098-00-2018), solicitó la modificación de la Licencia Ambiental otorgada para el proyecto GRAMALOTE.

Por medio del Auto 2014 del 2 de mayo de 2018, la ANLA inició a nombre de la sociedad GRAMALOTE LIMITED COLOMBIA el trámite de modificación de la Licencia Ambiental otorgada por esta Autoridad Nacional mediante la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015, para el proyecto GRAMALOTE. Por medio del Auto 02414 del 6 de mayo de **2019**, esta Autoridad Nacional declaró reunida la información para decidir sobre el trámite de modificación de Licencia Ambiental. Mediante **Resolución 00782 del 8 de mayo de 2019 la ANLA resuelve modificar licencia ambiental y se toman otras determinaciones para GRAMALOTE**, teniendo en cuenta que las actividades mineras relacionadas con la modificación están contenidas en el contrato de concesión presentado en el EIA y el cual corresponde al Contrato Único de Concesión identificado en el Catastro Minero con la placa.14292. Este contrato corresponde al Programa Único de Exploración y Explotación de los títulos mineros radicados con los números 2042, 14292, 6054, 6185B, 5917, 6032,

6194B, 6263, 7153, ICQ-0800631X e IFC-0802, aprobado por la Gobernación de Antioquia mediante la Resolución No. 0404971, con una cabida total de 8,720,709.5 ha.

Este contrato cuenta con un Programa de Trabajos y Obras (PTO) aprobado por Resolución 2018060230502 del 06 de julio de 2018, Resolución 2017060089964 del 30 de junio de 2017, Resolución 2016060082224 del 21 de octubre de 2016, Resolución S201500356632 de 22 de diciembre de 2015 y Resolución 2016060082224 de 21 de octubre de 2016 emitido por la Secretaría de Minas de Antioquia. El proyecto GRAMALOTE aprobado a la fecha ocupa un área envolvente de 1895,42 ha.

GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED mediante comunicación con radicación ANLA 2019025645-1-000 del 4 de marzo de **2019** solicitó a la ANLA pronunciamiento relacionado con la extensión de la fase de Reasentamiento debido a la presencia de "minería" informal e ilegal en áreas del proyecto Gramalote. En este mismo sentido, a través de comunicación con radicación 2019143050-1-000 del 19 de septiembre de **2019** la sociedad remitió a la Autoridad el documento "Alcance solicitud de pronunciamiento sobre extensión de la fase de Reasentamiento".

La Autoridad en respuesta a esta solicitud mediante Resolución 02427 del 11 de diciembre de **2019** realiza un ajuste vía seguimiento y resuelve modificar la actividad No. 1 del numeral 2 del Artículo Segundo de la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 en el sentido que "*La sociedad Gramalote Colombia Limited no podrá adelantar las etapas de construcción y montaje y operación hasta que culmine el proceso de reasentamiento como una obligación de resultado, siguiendo las especificaciones presentadas en el escrito bajo radicación ANLA 2015009086-1-000 del 23 de febrero de 2015 (EIA)*.".

Posteriormente, mediante los radicados ANLA No. 2020226366-1-000 y 2020226397-1-000 del 21 de diciembre de **2020** en el marco de la presentación del informe trimestral de avance del proceso de Reasentamiento No. 16, se presentó a esta Autoridad la solicitud de ajuste de la Medida de Manejo del PMA_SOC_06 – PROGRAMA DE REASENTAMIENTO en el marco del seguimiento ambiental que permite viabilizar la concomitancia del reasentamiento con las actividades de construcción y montaje del proyecto minero.

Mediante la Resolución 01447 del 18 de agosto de **2021** esta Autoridad realiza un ajuste vía seguimiento, modificando la actividad No. 1 del numeral 2 del Artículo Segundo de la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 modificado por el Artículo Primero de la Resolución 2427 del 11 de diciembre de 2019 en el sentido que "*La sociedad GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED podrá adelantar la etapa de construcción y montaje de manera concomitante con el reasentamiento escalonado, para lo cual deberá cumplir y observar las disposiciones que en materia de reasentamiento ha fijado el Banco Mundial, la Corporación Financiera Internacional, las mejores prácticas internacionales y las demás obligaciones que se establezcan por esta Autoridad Nacional*.".

El 2 de marzo de **2022** mediante radicado ANLA 2022037266-1-000 la empresa Gramalote Colombia Limited, en cumplimiento a lo descrito en el Artículo 4 de la Resolución 1259 de 2018 que remite al parágrafo 1 del Artículo 2.2.2.3.7.1. del Decreto 1076 de 2015 solicitó pronunciamiento para considerar como un cambio menor o de ajuste normal dentro del giro ordinario, la "*(…) adecuación de las instalaciones locativas que comprende la zona de parqueaderos, zona de estar y la zona de acopio (bodega) de núcleos (…)*"

Mediante **Oficio ANLA 2022084565-2-000 del 3 de mayo de 2022**, la Autoridad Nacional de licencias Ambientales – ANLA- se pronunció dando "Respuesta a los radicados ANLA 2022060835-1-000 del 31 de marzo de 2022, 2022052525-1-000 del 22 de marzo de 2022

y 2022037266-1-000 del 02 de marzo de 2022. Solicitud de pronunciamiento para considerar como un cambio menor o de ajuste normal dentro del giro ordinario de las actividades autorizadas por la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y sus modificaciones, la "(…) adecuación de las instalaciones locativas que comprende la zona de parqueaderos, zona de estar y la zona de acopio (bodega) de núcleos (…)", **determinando que dicha actividad corresponde a una modificación menor o de ajuste normal dentro del giro ordinario del Proyecto**, en el marco de lo dispuesto en el Parágrafo 1° del citado artículo.

Mediante Resolución 943 del 9 de mayo de **2023**, la Autoridad Nacional realizó ajuste vía seguimiento a la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015, en el sentido de aprobar e incluir en el Plan de Manejo Ambiental, la Ficha PMA_BIO_07 Programa de manejo de especies de flora en veda nacional y regional. Y por medio de la Resolución 2649 del 14 de noviembre de **2023**, esta Autoridad resolvió un recurso de reposición presentado en contra de la Resolución 943 de 2023, en el sentido de modificar el artículo primero del referido acto administrativo.

2.1.3 Actividades de exploración a la fecha

Informe NI 43-101 publicado en 2020 menciona que las perforaciones realizadas en el proyecto incluyen perforación por circulación inversa, extracción de testigos e Hydracore, con un total de 942 barrenos (173.482,24 m). La fecha límite de perforación de recursos para Gramalote Ridge y Trinidad fue el 9 de octubre de 2018. Hay 556 barrenos (102.156,19 m) que respaldan la estimación de recursos minerales en Gramalote Ridge y 32 barrenos (11.249,36 m) que respaldan la estimación de recursos minerales de Trinidad y que permiten conocer las características de la roca y las áreas mineralizadas.

El proyecto cuenta con diferentes campañas de exploración con fines geotécnicos, que son: 3 sondeos de campaña Knight Piésold y Andina Perforaciones, 2013; 11 sondeos de la Campaña Golder 2020, 16 sondeos de la campaña realizada por Integral S.A. el 2021, 5 registros geofísicos de perforaciones y 28 sondeos ejecutados entre diciembre de 2024 y 2025 para la zona de la planta de trituración (21) y la zona del Balsal (7).

En el 2012 Hidrogeocol ejecutó 16 Sondeos eléctricos verticales en el valle del río Nus y las quebradas Guacas, Palestina, Topacio y Batea y 17 perfiles de Geoeléctrica Continua Los perfiles PG-2 y PG-15, se sitúan sobre un depósito de terraza aluvial aledaña al río Nus, en la margen izquierda de la confluencia de la quebrada Guacas con el citado Río, de tal manera que permita identificar los espesores del depósito sedimentario y las estructuras asociadas a la tectónica local.

Los perfiles PG-3, PG-5, PG-9, PG-10, PG-11 y PG-12 se ubican en las colinas de los sectores de la quebrada Guacas abajo, Guacas arriba y Monjas, para conocer los espesores del saprolito. Los demás perfiles están distribuidos por toda el área de influencia indirecta del proyecto.

En el año 2025 Inteinsa ejecutó 4 líneas de Refracción Sísmica (SR), y ensayos de multicanal de ondas superficiales (MASW).

2.1.4 Investigaciones previas (técnicas y socioambientales)

El Proyecto Gramalote desarrolla sus actividades en el municipio de San Roque (Antioquia), donde hace presencia desde hace aproximadamente 20 años, consolidándose como uno

de los proyectos mineros de oro más representativos del país por su enfoque en la sostenibilidad y el relacionamiento responsable con las comunidades.

Desde el área técnica y ambiental, se han realizado diferentes estudios socioambientales enmarcados en la solicitud de licencia ambiental global y primera modificación de licencia ambiental. Estos estudios se han realizado en función de la caracterización del área de influencia de acuerdo con los términos de referencia vigentes e incluyen de forma detallada, información de los medios físico, biótico y socioeconómico. Dicha información, reposa en el Estudio de Impacto Ambiental (2015) y Complemento del Estudio de impacto ambiental (2019).

Adicionalmente, el proyecto hace parte de varias iniciativas que implican el desarrollo de estudios de asociados al desempeño ambiental del proyecto, tales como Programa Progresa de Cornare y la recolección de información técnica en función de protección ronda del rio Nus, gestión de la biodiversidad, gestión ambiental, gobernanza del recurso hídrico, reducción cambio climático y el fortalecimiento de la economía circular, como acciones que permitieron la disminución del consumo de recursos hídricos y energéticos la reducción en la generación de residuos, emisiones y vertimientos.

Por otra parte, el equipo de Relacionamiento Comunitario ha liderado durante estas dos décadas la construcción de la licencia social del Proyecto Gramalote, a través de acciones permanentes de información, participación, fortalecimiento organizacional, acompañamiento social y articulación institucional.

Este trabajo sostenido en campo ha permitido establecer relaciones de confianza con las comunidades, las organizaciones sociales y las administraciones locales, consolidando una gestión social coherente, inclusiva y transparente, que ha sido clave para viabilizar la operación minera en un marco de respeto, corresponsabilidad y sostenibilidad territorial y que al mismo tiempo ha permitido el conocimiento del territorio desde el punto de vista socioeconómico.

Con el fin de responder eficazmente a este propósito, se ha construido una estrategia de relacionamiento comunitario que integra las políticas y estándares corporativos, las características socioeconómicas del entorno y el análisis de los riesgos e impactos socioeconómicos, para establecer un relacionamiento asertivo con la comunidad y la institucionalidad local.

A partir de lo anterior, se han definido cinco líneas de acción, las cuales están orientadas a impactar e interiorizar el conocimiento sobre el área de influencia del proyecto. Este aspecto se desarrolla ampliamente en el capítulo de caracterización del medio socioeconómico.

Líneas de acción estrategia “Juntos Somos Comunidad” y sus respectivos proyectos

- Fortalecimiento organizaciones:
  - Formación a líderes comunales
  - Acompañamiento a organizaciones comunitarias del AID
  - Gobernanza del recurso hídrico
  - Inclusión y equidad de género
- Educación y Cultura
  - Diplomado a docentes
  - Orientación vocacional
  - Acompañamiento en áreas básicas

    - Sembradores de vida
    - Competencias ciudadanas
    - Zonas de escucha
    - Formación para la productividad
    - Formación en danza, teatro y música
    - Evokando
    - Banda Sinfónica del Nus
- Salud y Deporte
    - Plan de acción en salud:
    - Salud mental
    - Salud sexual y reproductiva
    - Prevención de consumo SPA
    - Actividad física y alimentación saludable
    - Seguridad vial
    - Escuela de fútbol transformados
    - Mi primer partido
    - Festivales Futboleros
    - Escuela de Emprendimiento Juvenil
- Desarrollo socioeconómico
    - Emprendimiento y proveeduría local
    - Granja Gramalote
    - Sistema productivo panelero

2.1.5 Investigaciones previas (Hidrogeología)

En el área de hidrogeología se han ejecutado para el proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote los estudios que se mencionan a continuación:

- En el 2012 Hidrogeocol realiza estudios para determinar la clasificación hidrogeológica de las unidades del proyecto.
- En el 2017 Golder realiza el Modelo Hidrogeológico numérico para la primera modificación del estudio de Impacto ambiental en FEFLOW.
- En el 2020 Golder realiza un nuevo modelo hidrogeológico conceptual para la etapa de factibilidad.
- En el 2020 Golder estima el Potencial de Drenaje Minero Acido y pruebas geoquímicas.
- En el 2021 Golder realiza el Modelo de predicción de la calidad de aguas en zona de tajos, en sedimentadores y depósitos de esteriles.
- En el 2021 SHI S.A.S realiza el reporte de monitoreo isotópico ejecutado en 2021.
- En el 2022 SHI S.A.S realiza la validación estadística de la red de monitoreo y propone una Red de Monitoreo de hidro geoquímica.

2.1.6 Determinantes ambientales

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, son determinantes para viabilizar la ejecución de un proyecto, obra o actividad los determinantes que se listan en la Tabla 2.1; que adicional a listarlos, presenta la verificación de los determinantes y su estado.

Tabla 2.1 Determinantes ambientales Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Determinante Ambiental	Aplica para el territorio (si/no)	Estado
Radicación de solicitudes de sustracción de reservas forestales de Ley 2 de 1959.	No	No hay proceso
Radicación de solicitudes de levantamiento de vedas.	Si	Se encuentran vigentes los actos administrativos que regulan el manejo de la veda. Veda Regional: Resolución 112-0919 del 19 de marzo de 2015, 112-3423-2018 de 31 de julio de 2018 CORNARE Veda nacional: Resolución 1932 de 2015 del MADS Resolución 0381 de 2019 del MADS
Trámites anteriores ante autoridades competentes.	Si	Gramalote cuenta con Licencia Ambiental (ANLA Resolución 1514 de 2015, Resolución 309 de 2016 y Resolución 782 de 2019), PTO aprobado y permisos sectoriales vigentes.
Identificación de acciones de ordenamiento ambiental y territorial.	Si	Se identifican acciones desde el EOT, se realiza la consulta en el Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Roque del 2022 (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022) donde se realizan intervenciones por infraestructura del proyecto objeto de modificación. No se identifican Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (POMCAS, PORH, entre otros) en el territorio.
Áreas del SINAP y SIRAP.	Si	En el SIRAP y SINAP (2025), se observan cruces con la presencia de la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, cuyo objetivo principal conservar la función protectora de los bosques, manejando actividades como la preservación, restauración y uso sostenible, y fue declarada mediante el Acuerdo 312 de 2014 de CORNARE.

Determinante Ambiental	Aplica para el territorio (si/no)	Estado
Ecosistemas estratégicos.	Si	En el Registro de Ecosistemas y Áreas ambientales (REAA), se identifica un cruce con una fracción del ecosistema de humedales de nivel uno (1) y nivel dos (2) correspondientes a humedales permanentes y humedales temporales transformados que saturan los suelos de manera alternada entre inundación y exposición.
Áreas ambientalmente sensibles.	Si	Dentro del EOT de 2022, se identifican áreas de alta sensibilidad, principalmente ligadas a fuentes hídricas, rondas, y pendientes. Dentro de los estudios anteriores del proyecto se zonificaron áreas de alta sensibilidad, principalmente ligadas a fuentes hídricas, rondas, y relictos de bosque protegido que reciben manejo diferencial.
Identificación, de áreas declaradas excluibles de la minería, establecidas mediante el Artículo 34 de la Ley 685 de 2001 del Ministerio de Minas y Energía.	Si	Se verificó no superposición con áreas excluibles por ley; las restricciones en ronda hídrica y reservas naturales se consideraron en la delimitación del proyecto en estudios anteriores y se contemplan para la presente modificación.

Fuente: Integral S.A., 2025

2.1.7 Permiso recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales

Integral S.A. es la empresa consultora encargada de elaborar el documento de estudio de impacto ambiental para la segunda modificación de licencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote; y será la encargada de los levantamientos de campo amparada en un permiso general.

De acuerdo con la Sección 2, Capitulo 9, Titulo 2, Parte 2, Libro 2 del Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS en su artículo 2.2.2.9.2.1. Actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica:

> *"Toda persona que pretenda adelantar estudios en los que sea necesario realizar actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica en el territorio nacional, con la finalidad de elaborar estudios ambientales*

necesarios para solicitar y/o modificar licencias ambientales o su equivalente, permisos, concesiones o autorizaciones deberá previamente solicitar a la autoridad ambiental competente la expedición del permiso que reglamenta el presente decreto.

El permiso de que trata el presente decreto amparará la recolecta de especímenes que se realicen durante su vigencia en el marco de la elaboración de uno o varios estudios ambientales.

PARÁGRAFO 1. Las disposiciones contenidas en el presente decreto se aplicarán sin perjuicio de las normas legales vigentes sobre bioseguridad, salud pública y sanidad animal y vegetal.

PARÁGRAFO 2. La obtención del permiso de que trata el presente decreto constituye un trámite previo dentro del proceso de licenciamiento ambiental y no implica la autorización de acceso y aprovechamiento a recursos genéticos.

(Decreto 3016 de 2013, art. 1).

En este orden de ideas, la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare CORNARE mediante Resolución RE-01318-2024 otorgó a INTEGRAL S.A., identificada con el NIT 890903055-1, a través de su representante legal suplente, el señor Carlos Andrés Laíno Cortissoz, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 71.778.662, Permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales Ver ANEXOS_GENERALIDADES_PRE, para realizar las colectas en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare, para los grupos biológicos de flora, fauna y comunidades acuáticas, por un término de dos (2) años contado a partir de la ejecutoria del acto administrativo (24/04/2024), o menos si el interesado así lo requiere. Las metodologías aprobadas en el permiso referido, para cada grupo biológico, se encuentran descritas en detalle en el documento *Metodologías Establecidas*, el cual forma parte de los ANEXOS_GENERALIDADES_PRE.

De acuerdo con el artículo cuarto de la resolución citada, Integral S.A está obligado a:

Entregar el Formato de Inicio de Actividades de Recolección por Proyecto diseñado por la ANLA, con quince (15) días de antelación a su desplazamiento, incluyendo las coordenadas geográficas (en grados, minutos y segundos) en donde se realizarán los estudios y la fecha prevista para realizar las actividades autorizadas, determinado el responsable por grupo biológico a estudiar de acuerdo con las hojas de vida entregadas previamente. (Radicado CE-20701-2024 del 04 de diciembre de 2024, Ver ANEXOS_GENERALIDADES_PRE) y finalmente, el titular del permiso deberá presentar a Cornare, un informe final de las actividades realizadas, en el Formato para la Relación del Material Recolectado para Estudios Ambientales. Esta obligación será atendida al finalizar el estudio, en el marco del cierre del permiso de recolección ante la Corporación Autónoma correspondiente.

2.1.8 Superposición con otros proyectos

En el proceso de identificación de los proyectos de infraestructura que se encuentran localizados en el área de influencia de la presente solicitud de modificación de licencia ambiental, inicialmente se realizó el análisis estipulado en el artículo 2.2.2.3.6.4 del Decreto 1076 de 2015, el cual regula dentro del régimen de licenciamiento ambiental lo relacionado con la superposición de proyectos, y dispone:

"*Artículo 2.2.2.3.6.4. Superposición de proyectos. La autoridad ambiental competente podrá otorgar licencia ambiental a proyectos cuyas áreas se superpongan con proyectos licenciados, siempre y cuando el interesado en el proyecto a licenciar demuestre que estos pueden coexistir e identifique, además, el manejo y la responsabilidad individual de los impactos ambientales generados en el área superpuesta.*

Para el efecto el interesado en el proyecto a licenciar deberá informar a la autoridad ambiental sobre la superposición, quien, a su vez, deberá comunicar tal situación al titular de la licencia ambiental objeto de superposición con el fin de que conozca dicha situación y pueda pronunciarse al respecto en los términos de ley."

Para este caso, se analizó la superposición de los proyectos que cuentan con licencia ambiental vigente que se superponen con el área de intervención o con el área de influencia de la presente modificación de licencia ambiental. Se realizó la consulta en el Sistema para el Análisis y Gestión Información del Licenciamiento Ambiental – SIG AGIL de la ANLA, como también se solicitó la información a las autoridades ambientales regionales del área de influencia, CORANTIOQUIA (mediante radicado 160AS-RES2503-929) y CORNARE (mediante radicado CS-02552-2025). Ver ANEXOS_CONSULTA_AUTORIDADES.

En la Tabla 2.2, se listan los proyectos con licencia ambiental vigente que se encuentran ubicados dentro del área de influencia y/o de intervención de la Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. De igual forma se presenta su ubicación en las figuras como se presenta en la Tabla 2.3. En ANEXOS_GENERALIDADES_SUPERPOSICION_LICENCIAS se presenta el informe "I-I-10710-SUPERPOSICION-V00-V0" en el cual se realizó el análisis de los impactos comunes entre los proyectos que presentan superposición de áreas de influencia, incluyendo el análisis de impactos acumulativos y sinérgicos, los programas de manejo específicos e individuales aplicables, así como el análisis de individualización de impactos y coexistencia entre proyectos. Así mismo, se incluye la información consultada de cada expediente ANEXOS_GENERALIDADES_SUPERPOSICION_LICENCIAS_SOPORTES.

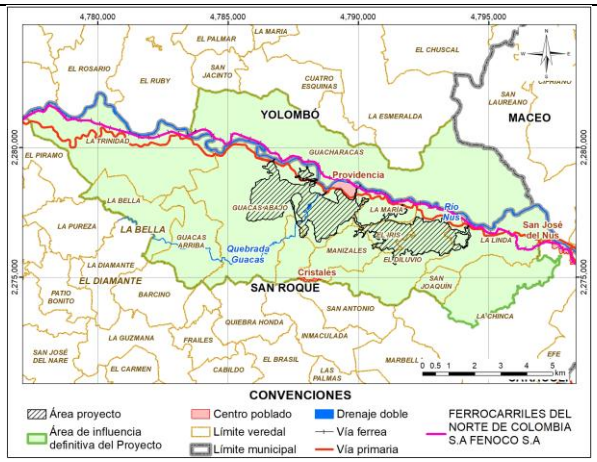
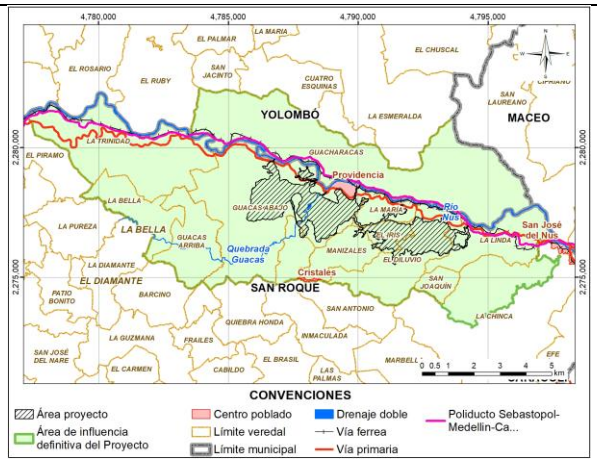
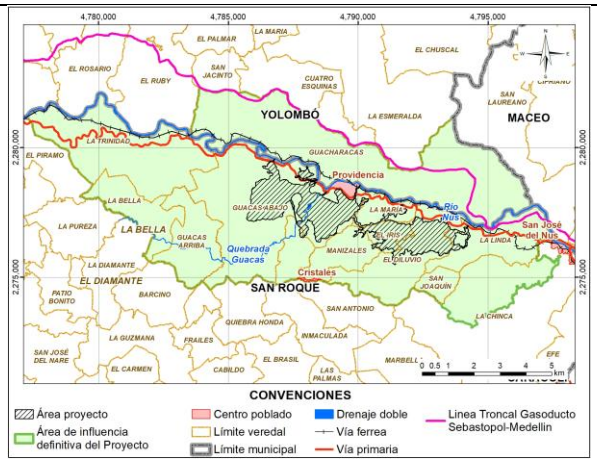
Tabla 2.2 Licencias ambientales superpuestas con área intervención y/o área influencia

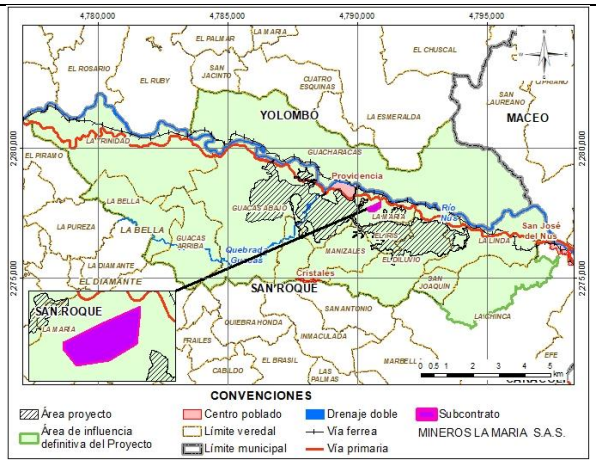
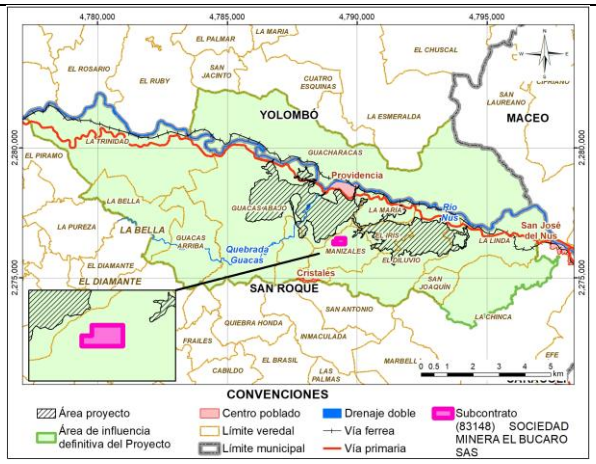
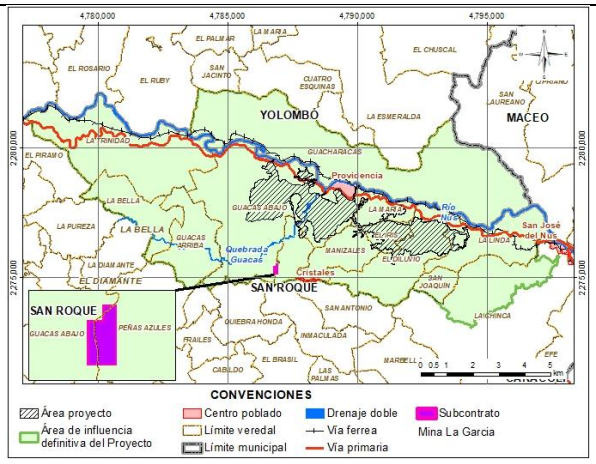
Expediente/ Autoridad	Operador	Proyecto	Superposición
LAM2375/ ANLA	Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A Fenoco S.A. transferido a Agencia Nacional de Infraestructura - ANI	Red Férrea del Atlántico, rehabilitación, conservación y mantenimiento de red férrea en los sectores de Bogotá - Santa Marta, Bogotá –Belencito, La Caro – Lenguazaque, Bello - Puerto Berrio.	Superposición con área de influencia modificación licencia y con área de intervención (canal de descarga de sedimentador La Colorada)
LAM0520/ ANLA	Ecopetrol S.A. - CENIT	Poliducto Sebastopol – Medellin – Cartago	Superposición con área de influencia modificación licencia. No presenta superposición con infraestructura.
LAM0263/ ANLA	Transmetano	Línea Troncal gasoducto Sebastopol-Medellín	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.

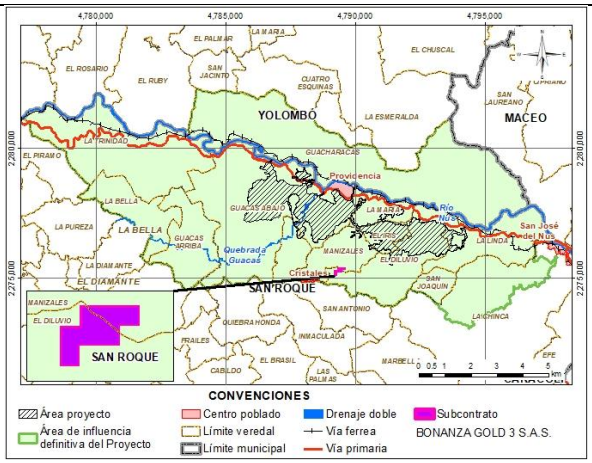
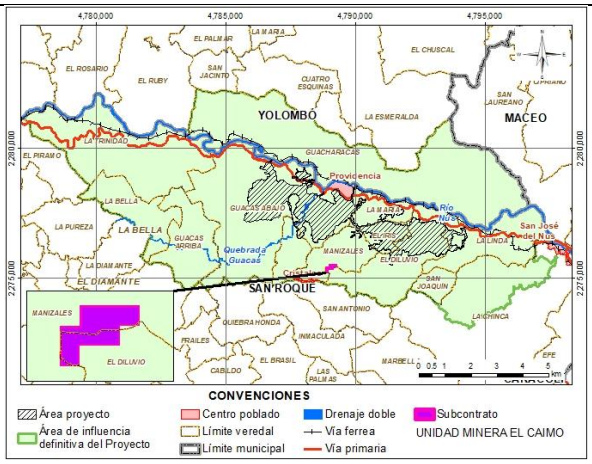
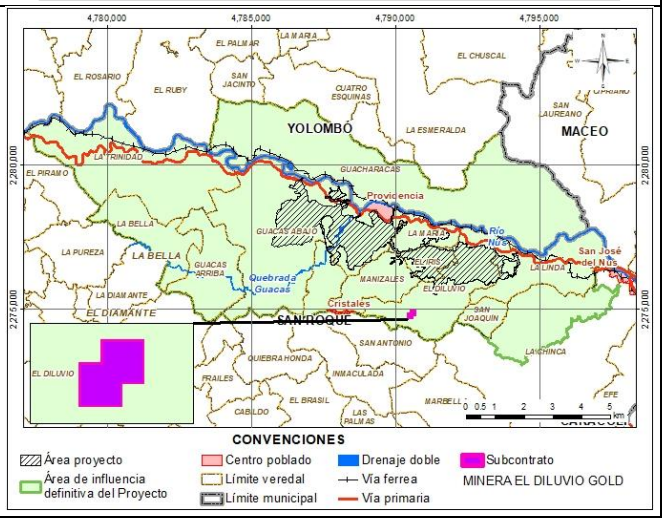
Expediente/ Autoridad	Operador	Proyecto	Superposición
112-1171-2020/ CORNARE	Mineros La María	Sociedad Mineros La Maria S.A.	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.
RE-08368-2021/ CORNARE	Unidad Minera El Bucaro	Sociedad Minera El Bucaro S.A.S.	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.
RE-00283-2022/ CORNARE	Mina La García	Carlos Mario Rua Bustamante	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.
RE-00335-2022/ CORNARE	Mina Bonanza	Sociedad Bonanza Gold 3 S.A.S	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.
RE-00390-2022/ CORNARE	Mina Caimo	Unidad Minera El Caimo S.A.S.	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.
RE-00379-2022/ CORNARE	Mina El Diluvio	Minera El Diluvio Gold S.A.S.	Superposición con área de influencia modificación licencia No presenta superposición con infraestructura.

Fuente: Integral S.A., 2025 según AGIL (ANLA) y respuesta Cornare y Corantioquia.

Tabla 2.3 Figuras de ubicación de superposición de proyectos.

Expediente/ Autoridad	Operador
LAM2375/ ANLA Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A Fenoco S.A. transferido a Agencia Nacional de Infraestructura - ANI	
LAM0520/ ANLA Ecopetrol S.A. - CENIT	
LAM0263/ ANLA Transmetano	

Expediente/ Autoridad	Operador
112-1171-2020/ CORNARE Mineros La María	
RE-08368-2021/ CORNARE Unidad Minera El Bucaro	
RE-00283-2022/ CORNARE Mina La Garcia	

Expediente/ Autoridad	Operador
RE-00335-2022/ CORNARE Mina Bonanza	
RE-00390-2022/ CORNARE Mina El Caimo	
RE-00379-2022/ CORNARE Mina El Diluvio	

Fuente: Integral S.A., 2025 según AGIL (ANLA) y respuesta Cornare y Corantioquia.

De acuerdo con lo anterior, se realizó el proceso de relacionamiento con los titulares de las licencias ambientales, con el fin de socializar la ubicación de las obras objeto de modificación y su área de influencia asociada, buscando establecer de manera conjunta,

una coexistencia segura desde el punto de vista ambiental y técnico. De estos espacios, surgieron acuerdos de colaboración que permiten establecer los términos y condiciones de las interferencias que se puedan presentar entre los proyectos a nivel de infraestructura.

En el proceso de relacionamiento con los proyectos con superposición identificada, se aclaró que el proyecto Gramalote será el único responsable de los impactos ambientales que se pudieran generar por el desarrollo de las obras y actividades que autorice la ANLA en la modificación de la licencia ambiental, para lo cual se encuentran planteadas las medidas de manejo necesarias para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos que se produzcan por la ejecución de las nuevas actividades, (Capítulo 10_1 Plan de Manejo Ambiental). En el ANEXOS_GENERALIDADES_SUPERPOSICIÓN_LICENCIAS_SOPORTES, se encuentran las actas de acuerdos con coexistencia con los proyectos mencionados.

Adicionalmente, para establecer las potenciales implicaciones de las obras objeto de Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, en relación con las políticas, planes, programas y proyectos, que, a nivel nacional, departamental y municipal, estén contemplados en el área de influencia, con el propósito de evaluar posibles superposiciones, se identificó como proyecto de infraestructura proyectado la “Vía El Santuario – Providencia”. Al respecto, se realizó reunión de socialización con la Gobernación del Antioquia, donde se presentó la infraestructura general del proyecto Gramalote y de igual forma se conocieron las alternativas de trazado de esta vía. A la fecha, se encuentra en fase de análisis las alternativas del trazado de esta vía, una vez sea definida la existencia de una superposición, se realizarán los acercamientos necesarios para establecer el respectivo acuerdo de coexistencia (ver ANEXOS_GENERALIDADES_SUPERPOSICIÓN_LICENCIAS_SOPORTES). (Geoportal EPM, s.f.)

2.1.9 Marco normativo vigente

El marco regulatorio asociado a los estudios de impacto ambiental que requieren licencia ambiental tiene origen en la ley 99/1993 mediante la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente y se establecen otras disposiciones; entre ellas la licencia ambiental. Luego, en el año 2015, por orden del presidente de la República se consolidan las normas por campo temático, que para el caso ambiental se materializa en el Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, mediante el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiental.

La Tabla 2.4 presenta el marco legal ambiental relacionado con Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Tabla 2.4 Marco legal aplicable Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Documento	Objetivo / Aplicación
Ley 99/1993	“por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.” Título VIII. De las licencias ambientales. **ARTÍCULO 49. De la Obligatoriedad de la Licencia Ambiental**. (Modificado por el Artículo 89 del Decreto 1122 de 1999); (Modificado por el Artículo 49 Decreto 266 de 2000. La ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad que, de acuerdo con la ley y los

Documento	Objetivo / Aplicación
	reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje requerirán de una Licencia Ambiental. **ARTÍCULO 50. De la Licencia Ambiental.** Se entiende por Licencia Ambiental la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de una obra o actividad, sujeta al cumplimiento por el beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada
Decreto 1076/2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Trámite de Modificación de licencia **Libro 2. Reglamentario sector ambiental, Parte 2. Reglamentaciones, Título 2. Gestión Ambiental, Capítulo 3. Licencias Ambientales** **Sección 1. Disposiciones Generales** **ARTÍCULO 2.2.2.3.1.4. Licencia ambiental global**. Para el desarrollo de obras y actividades relacionadas con los proyectos de explotación minera y de hidrocarburos, la autoridad ambiental competente otorgará una licencia ambiental global, que abarque toda el área de explotación que se solicite. En este caso, para el desarrollo de cada una de las actividades y obras definidas en la etapa de hidrocarburos será necesario presentar un plan de manejo ambiental, conforme a los términos, condiciones y obligaciones establecidas en la licencia ambiental global. Dicho plan de manejo ambiental no estará sujeto a evaluación previa por parte de la autoridad ambiental competente; por lo que una vez presentado, el interesado podrá iniciar la ejecución de las obras y actividades, que serán objeto de control y seguimiento ambiental. La licencia ambiental global para la explotación minera comprenderá la construcción, montaje, explotación, beneficio y transporte interno de los correspondientes minerales o materiales. (Decreto 2041 de 2014, art.4) **Sección 6. Trámite para la obtención de la licencia ambiental.** **ARTÍCULO 2.2.2.3.6.2. De la solicitud de licencia ambiental y sus requisitos**. En los casos en que no se requiera pronunciamiento sobre la exigibilidad del diagnóstico ambiental de alternativas (DAA) o una vez surtido dicho procedimiento, el interesado en obtener licencia ambiental deberá radicar ante la autoridad ambiental competente, el estudio de impacto ambiental de que trata el artículo21 del presente decreto y anexar la siguiente documentación: 1. **Formulario Único de Licencia Ambiental**. 2. **Planos que soporten el EIA**, de conformidad con lo dispuesto en la Resolución 1415 de 2012, que modifica y actualiza el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Geodatabase) o la que la sustituya, modifique o derogue. 3. **Costo estimado de inversión y operación del proyecto**. 4. **Poder** debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado. 5. **Constancia de pago para la prestación del servicio de evaluación de la licencia ambiental**. Para las solicitudes radicadas ante la ANLA, se deberá realizar la autoliquidación previa a la presentación de la solicitud de licencia ambiental. En caso de que el usuario requiera para efectos del pago del servicio de evaluación la liquidación realizada por la autoridad ambiental competente, ésta deberá ser solicitada por lo menos con quince (15) días hábiles de antelación a la presentación de la solicitud de licenciamiento ambiental. 6. Documento de identificación o **certificado de existencia y representación legal**, en caso de personas jurídicas. 7. **Certificado del Ministerio del Interior** sobre presencia o no de comunidades étnicas y de existencia de territorios colectivos en el área del proyecto de conformidad con lo dispuesto en las disposiciones relacionadas con el Protocolo de Coordinación interinstitucional para la Consulta Previa. 8. **Copla de la radicación del documento exigido por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH**), a través del cual se da cumplimiento a lo establecido en la Ley 1185 de 2008. 9. Formato aprobado por la autoridad ambiental competente, para la **verificación preliminar de la documentación** que conforma la solicitud de licencia ambiental.

Documento	Objetivo / Aplicación
	10. Derogar el numeral 10 del artículo 24 del Decreto 2041 de 2014, que se refiere a la "Certificación de la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Tierras Despojadas, en la que se indique si sobre el área de influencia del proyecto se sobrepone un área macrofocalizada y/o microfocalizada por dicha Unidad, o si se ha solicitado por una particular inclusión en el registro de tierras despojadas o abandonadas forzosamente, que afecte alguno de los predios. (decreto 783 de 2015, artículo 1) PARÁGRAFO 1. Los interesados en ejecución de proyectos mineros deberán allegar **copia del título minero y/o el contrato de concesión minera** debidamente otorgado e inscrito en el Registro Minero Nacional. Así mismo los interesados en la ejecución de proyectos de hidrocarburos deberán allegar copia del contrato respectivo. PARÁGRAFO 2. Cuando se trate de proyectos, obras o actividades de competencia de la ANLA, el solicitante deberá igualmente **radicar una copia del Estudio de Impacto Ambiental ante las respectivas autoridades ambientales regionales**. De la anterior radicación se deberá allegar constancia a la ANLA en el momento de la solicitud de licencia ambiental. PARÁGRAFO 3. Las solicitudes de licencia ambiental para proyectos de explotación minera de carbón deberán incluir los estudios sobre las condiciones del modo de transporte desde el sitio de explotación de carbón hasta el puerto de embarque del mismo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3083 de 2007 o la norma que lo modifique o sustituya. PARÁGRAFO 4. Cuando se trate de proyectos de exploración y/o explotación de hidrocarburos en los cuales se pretenda realizar la actividad de estimulación hidráulica en los pozos, el solicitante deberá adjuntar un concepto de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), que haga constar que dicha actividad se va a ejecutar en un yacimiento convencional y/o en un yacimiento no convencional. (Decreto 2041 de 2014, art.24) **ARTÍCULO 2.2.2.3.6.6. Contenido de la licencia ambiental**. El acto administrativo en virtud del cual se otorga una licencia ambiental contendrá: 1. La identificación de la **persona natural o jurídica, pública o privada a quién se autoriza la ejecución o desarrollo de un proyecto, obra o actividad**, indicando el nombre o razón la ejecución o desarrollo de un proyecto, obra o actividad, indicando el nombre o razón social, documento de identidad y domicilio. 2. El **objeto general y localización del proyecto**, obra o actividad. 3. Un **resumen de las consideraciones y motivaciones de orden ambiental** que han sido tenidas en cuenta para el otorgamiento de la licencia ambiental. 4. Lista de las diferentes **actividades y obras que se autorizan con la licencia ambiental**. 5. Los **recursos naturales renovables que se autoriza utilizar, aprovechar y/o afectar**, así mismo las condiciones, prohibiciones y requisitos de su uso. 6. Los **requisitos, condiciones y obligaciones adicionales al plan de manejo ambiental** presentado que debe cumplir el beneficiario de la licencia ambiental durante la construcción, operación, mantenimiento, desmantelamiento y abandono y/o terminación del proyecto, obra o actividad. 7. La obligatoriedad de publicar el acto administrativo, conforme al artículo 71 de la Ley 99 de 1993. 8. Las demás que estime la autoridad ambiental competente. (Decreto 2041 de 2014, art.28) **Sección 7. Modificación, cesión, integración, pérdida de vigencia de la licencia ambiental, y cesación del trámite de licenciamiento ambiental** ARTÍCULO 2.2.2.3.7.1. Modificación de la licencia ambiental. La licencia ambiental **deberá ser modificada en los siguientes casos**: 1. **Cuando el titular de la licencia ambiental pretenda modificar el proyecto, obra o actividad** de forma que se generen impactos ambientales adicionales a los ya identificados en la licencia ambiental. 2. Cuando al otorgarse la licencia ambiental no se contemple el uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables, necesarios o suficientes para el buen desarrollo y operación del proyecto, obra o actividad.

Documento	Objetivo / Aplicación
	3. Cuando se pretendan variar las condiciones de uso, aprovechamiento o afectación de un recurso natural renovable, de forma que se genere un mayor impacto sobre los mismos respecto de lo consagrado en la licencia ambiental. 4. Cuando el titular del proyecto, obra o actividad solicite efectuar la reducción del área licenciada o la ampliación de la misma con áreas lindantes al proyecto. 5. Cuando el proyecto, obra o actividad cambie de autoridad ambiental competente por efecto de un ajuste en el volumen de explotación, el calado, la producción, el nivel de tensión y demás características del proyecto. 6. Cuando como resultado de las labores de seguimiento, la autoridad identifique impactos ambientales adicionales a los identificados en los estudios ambientales y requiera al licenciatario para que ajuste tales estudios. 7. Cuando las áreas objeto de licenciamiento ambiental no hayan sido intervenidas y estas áreas sean devueltas a la autoridad competente por parte de su titular. 8. Cuando se pretenda integrar la licencia ambiental con otras licencias ambientales. 9. Para el caso de proyectos existentes de exploración y/o explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales que pretendan también desarrollar actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales siempre y cuando se pretenda realizar el proyecto obra o actividad en la misma área ya licenciada y el titular sea el mismo, de lo contrario requerirá adelantar el proceso de licenciamiento ambiental de que trata el presente decreto. Este numeral no aplica para los proyectos que cuentan con un plan de manejo ambiental como instrumento de manejo y control, caso en el cual se deberá obtener la correspondiente licencia ambiental. PARÁGRAFO 1. Para aquellas obras que respondan a modificaciones menores o de ajuste normal dentro del giro ordinario de la actividad licenciada y que no impliquen nuevos impactos ambientales adicionales a los inicialmente identificados y dimensionados en el estudio de impacto ambiental, el titular de la licencia ambiental, solicitará mediante escrito y anexando la información de soporte, el pronunciamiento de la autoridad ambiental competente sobre la necesidad o no de adelantar el trámite de modificación de la licencia ambiental, quien se pronunciará mediante oficio en un término máximo de veinte (20) días hábiles. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible señalará los casos en los que no se requerirá adelantar el trámite de modificación de la licencia ambiental o su equivalente, para aquellas obras o actividades consideradas cambios menores o de ajuste normal dentro del giro ordinario de los proyectos; dicha reglamentación aplicará para todas las autoridades ambientales competentes. En materia de cambios menores o ajustes normales en proyectos de infraestructura de transporte se deberá atender a la reglamentación expedida por el Gobierno Nacional en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 41 de la Ley 1682 de 2013. PARÁGRAFO 2. A efectos de lo dispuesto en el numeral 5, el interesado deberá presentar la solicitud ante la autoridad ambiental del proyecto, quien remitirá el expediente dentro de los diez (10) días hábiles a la autoridad ambiental competente en la modificación para que asuma el proyecto en el estado en que se encuentre. PARÁGRAFO 3. Cuando la modificación consista en ampliación de áreas del proyecto inicialmente licenciado, se deberá aportar el certificado del Ministerio del Interior sobre la presencia o no de comunidades étnicas y de existencia de territorios colectivos de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 2613 de 2013. (Decreto 2041 de 2014, art.29) **ARTÍCULO 2.2.2.3.7.2. Requisitos para la modificación de la licencia ambienta**l. Cuando se pretenda modificar la licencia ambiental se deberá presentar y allegar ante la autoridad ambiental competente la siguiente información: 1**. Solicitud suscrita por el titular de la licencia**. En caso en que el titular sea persona jurídica, la solicitud deberá ir suscrita por el representante legal de la misma o en su defecto por el apoderado debidamente constituido. 2. La **descripción de la (s) obra (s) o actividad (es) objeto de modificación**; incluyendo plano y mapas de la localización, el costo de la modificación y la justificación. 3. El **complemento del estudio de impacto ambiental** que contenga la descripción y evaluación de los nuevos impactos ambientales si los hubiera y la propuesta de ajuste al plan de manejo ambiental

Documento	Objetivo / Aplicación
	que corresponda. El documento deberá ser presentado de acuerdo con la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 4. **Constancia de pago** del cobro para la prestación de los servicios de la evaluación de los estudios ambientales del proyecto, obra o actividad. Para las solicitudes radicadas ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se deberá realizar la autoliquidación previa a la solicitud de modificaciones. 5. Copia de la **constancia de radicación del complemento del estudio de impacto ambiental ante la respectiva autoridad ambiental con jurisdicción en el área de influencia directa del proyecto**, en los casos de competencia de Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), siempre que se trate de una petición que modifiquen el uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables. (Decreto 2041 de 2014, art.30) **Sección 8. Trámite para la modificación de la licencia ambiental** **ARTÍCULO 2.2.2.3.8.1. Trámite:** 1. A partir de la fecha de radicación de la solicitud con el lleno de los requisitos exigidos, la autoridad ambiental competente, de manera inmediata procederá a para expedir el **acto de inicio de trámite de modificación de licencia ambiental** que será comunicado en los términos de la Ley 1437 de 2011 y se publicará en el boletín de la autoridad ambiental competente en los términos del artículo 70 de la Ley 99 de 1993. 2. **Expedido el acto administrativo de inicio trámite de modificación**, la autoridad ambiental competente evaluará que el complemento del estudio ambiental presentado se ajuste a los requisitos mínimos contenidos en el Manual de Evaluación de Estudios Ambientales y realizará visita al proyecto, cuando la naturaleza del mismo lo requiera, dentro de los quince (15) días hábiles después del acto administrativo de inicio; cuando no se estime pertinente la visita o habiendo vencido el anterior lapso la autoridad ambiental competente dispondrá de cinco (5) días hábiles para realizar una reunión con el fin de solicitar por una única vez la información adicional que se considere pertinente. Dicha reunión será convocada por la autoridad ambiental competente mediante oficio, a la cual deberá asistir por lo menos el solicitante, o representante legal en caso de ser persona jurídica o su apoderado debidamente constituido, y por parte de la autoridad ambiental competente deberá asistir el funcionario delegado para tal efecto. Así mismo en los casos de competencia de la ANLA, esta podrá convocar a dicha reunión a la(s) Corporación (es) Autónoma (s) Regional (es), de Desarrollo Sostenible o los Grandes Centros Urbanos que se encuentren en el área de jurisdicción del proyecto, para que se pronuncien sobre el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Este será el único escenario para que la autoridad ambiental requiera por una sola vez información adicional que considere necesaria para decidir, la cual quedará plasmada en acta. Toda decisión que se adopte en esta reunión se notificará verbalmente, debiendo dejar precisa constancia a través de acta de las decisiones adoptadas y de las circunstancias en que dichas decisiones quedaron notificadas. Así mismo, contra las decisiones adoptadas en esta reunión por la autoridad ambiental, procederá el recurso de reposición, el cual deberá resolverse de plano en la misma reunión, dejando constancia en el acta. La inasistencia a esta reunión por parte del solicitante no impedirá la realización de la misma, salvo cuando por justa causa el peticionario, lo solicite. En los casos de competencia de la ANLA, la inasistencia a esta reunión por parte de la Corporación Autónoma Regional, de Desarrollo Sostenible o Grandes Centros Urbanos convocados no impedirá la realización de la misma. El peticionario contará con un término de un (1) mes para allegar la información requerida; este término podrá ser prorrogado por la autoridad ambiental de manera excepcional, hasta antes del vencimiento del plazo y por un término igual, previa solicitud del interesado de conformidad con lo dispuesto en el artículo 17 de la Ley 1437 de 2011 o la norma que lo modifique, sustituya o derogue. En todo caso, la información adicional que allegue el solicitante deberá ser exclusivamente la solicitada en el requerimiento efectuado por la autoridad ambiental y, sólo podrá ser aportada por una única vez. En el evento en que el solicitante allegue información diferente a la consignada en el requerimiento o la misma sea sujeta a complementos de manera posterior a la inicialmente entregada, la autoridad ambiental competente no considerará dicha información dentro del proceso de evaluación de la solicitud de modificación de licencia ambiental.

Documento	Objetivo / Aplicación
	3. Cuando el solicitante no allegue la información en los términos establecidos en el numeral anterior, la autoridad ambiental ordenará el archivo de la solicitud de modificación y la devolución de la totalidad de la documentación aportada, mediante acto administrativo motivado que se notificará en los términos de la ley. 4. **Allegada la información por parte del solicitante, la autoridad ambiental dispondrá de hasta diez (10) días hábiles adicionales para solicitar a otras entidades o autoridades los conceptos técnicos o informaciones pertinentes que deberán ser remitidos en un plazo no mayor de diez (10) días hábiles**. Durante el trámite de solicitud de conceptos a otras autoridades, la autoridad ambiental competente deberá continuar con la evaluación de la solicitud. 5. **Vencido el término anterior la autoridad ambiental contará con un término máximo de veinte (20) días hábiles, para expedir el acto administrativo** que declara reunida información y la resolución o el acto administrativo que otorga o niega la modificación de la licencia ambiental. Tal decisión deberá ser notificada de conformidad con lo dispuesto en la Ley 1437 de 2011 y publicada en los términos del artículo 71 de la Ley 99 de 1993. 6. **Contra la resolución por la cual se otorga o se niega la modificación de la licencia ambiental proceden los recursos consagrados en la Ley 1437 de 2011.** PARÁGRAFO 1. Cuando se trate de proyectos, obras o actividades asignados a la ANLA, cuya solicitud de modificación esté relacionada con el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales renovables las autoridades ambientales regionales con jurisdicción en el área de influencia del proyecto contará con un término de máximo de diez (10) días hábiles, contados a partir de la radicación del complemento del estudio de impacto ambiental, para pronunciarse sobre la modificación solicitada si a ellos hay lugar, para lo cual el peticionario allegará la constancia de radicación con destino a la mencionada entidad. PARÁGRAFO 2. Cuando la ANLA requiera información adicional relacionada con el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales renovables, la autoridad o autoridades ambientales con jurisdicción en el área del proyecto deberán emitir el correspondiente concepto técnico sobre los mismos, en un término máximo de siete (7) días hábiles contados a partir de la radicación de la información adicional por parte del solicitante. Cuando las autoridades ambientales de las que trata el presente parágrafo no se hayan pronunciado una vez vencido el término antes indicado, la ANLA procederá a pronunciarse en modificación de la licencia ambiental sobre el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales renovables. PARÁGRAFO 3. En el evento en que durante el trámite de modificación de licencia ambiental se solicite o sea necesaria la celebración de una **audiencia pública** ambiental de conformidad con lo establecido en el artículo 72 de la Ley 99 de 1993 y el Decreto 330 de 2007 o la norma que lo modifique, sustituya o derogue, se suspenderán los términos que tiene la autoridad ambiental competente para decidir. Esta suspensión se contará a partir de la fecha de fijación del edicto a través del cual se convoca la audiencia pública, hasta la expedición del acta de dicha audiencia por parte de la autoridad ambiental. PARÁGRAFO 4. Cuando el complemento del estudio de impacto ambiental (EIA) no cumpla con los requisitos mínimos del Manual de Evaluación de Estudios Ambientales la autoridad ambiental mediante acto administrativo dará por terminado el trámite y el solicitante podrá presentar una nueva solicitud. PARÁGRAFO 5. Cuando la modificación del proyecto, obra o actividad requiera la sustracción de un área de reserva forestal o el levantamiento de una veda, la autoridad ambiental no podrá dar aplicación al numeral 5 del presente artículo, hasta tanto el solicitante allegue copia de los actos administrativos, a través de los cuales se concede la sustracción o el levantamiento de la veda. PARÁGRAFO 6. En el evento en que para la fecha de la citación de la reunión de qué trata el numeral 2 del presente artículo se hayan reconocido terceros intervinientes de conformidad con lo dispuesto en el artículo70 de la Ley 99 de 1993 la autoridad ambiental deberá comunicar el acta contemplada en dicho numeral. PARÁGRAFO 7. **El interesado en el trámite de solicitud de modificación de licencia ambiental deberá aportar todos los documentos exigidos en el Decreto 1076 de 2015 y demás normas vigentes, incluida la protocolización de la consulta previa cuando ella proceda**. Sin embargo, si durante la evaluación del complemento del Estudio de Impacto Ambiental, la Autoridad Ambiental considera técnica y jurídicamente necesario que el interesado actualice el pronunciamiento de la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior -DANCP- sobre

Documento	Objetivo / Aplicación
	la procedencia de consulta previa, se suspenderán los términos que tiene la Autoridad Ambiental para decidir. La Autoridad Ambiental no continuará con el proceso de evaluación, hasta tanto el interesado no allegue la decisión que expida la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior -DANCP- relacionada con la no procedencia de la consulta previa o allegue la protocolización de la consulta previa, cuando ella proceda. Esta suspensión iniciará a partir del vencimiento del plazo previsto en el inciso 6 del numeral 2 del presente artículo y hasta tanto el interesado allegue la decisión que expida la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior- DANCP de no procedencia de consulta previa o la protocolización de la Consulta Previa, cuando ella proceda. En todo caso**, el plazo de suspensión no será superior a dieciocho (18) meses, vencido el cual, sin que se allegue lo previsto en el presente parágrafo, dará lugar al archivo del expediente**. En ningún caso la Autoridad Ambiental modificará licencia ambiental sin la protocolización de la consulta previa cuando ella proceda. (Parágrafo 7, Adicionado por el Art. 4 del Decreto 1585 de 2020) PARÁGRAFO 7 A. Transitorio. Las Autoridades Ambientales que a la fecha de entrada en vigencia del Parágrafo 7 cuenten con actuaciones que se encuentren en curso, podrán suspender los términos para decidir sobre la modificación de la licencia ambiental, hasta tanto el interesado allegue la decisión que sobre el particular emita la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior-DANCP-, o allegue la protocolización de la consulta previa, cuando ella proceda. En todo caso, el plazo de suspensión no será superior a dieciocho (18) meses, vencido el cual, sin que se allegue lo previsto en el presente parágrafo, dará lugar al archivo del expediente. (Parágrafo 7A, Adicionado por el Art. 4 del Decreto 1585 de 2020) (Decreto 2041 de 2014, art.31) **Libro 2. Reglamentario sector ambiental, Parte 2. Reglamentaciones, Título 2. Gestión Ambiental, Capítulo 9. Colecciones biológicas** **Sección 2. permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales.** ARTÍCULO 2.2.2.9.2.1. **Actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica.** Toda persona que pretenda adelantar estudios en los que sea necesario realizar actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica en el territorio nacional, con la finalidad de elaborar estudios ambientales necesarios para solicitar y/o modificar licencias ambientales o su equivalente, permisos, concesiones o autorizaciones deberá previamente solicitar a la autoridad ambiental competente la expedición del permiso que reglamenta el presente decreto. El permiso de que trata el presente decreto amparará la recolecta de especímenes que se realicen durante su vigencia en el marco de la elaboración de uno o varios estudios ambientales. PARÁGRAFO 1. Las disposiciones contenidas en el presente decreto se aplicarán sin perjuicio de las normas legales vigentes sobre bioseguridad, salud pública y sanidad animal y vegetal. PARÁGRAFO 2. La obtención del permiso de que trata el presente decreto constituye un trámite previo dentro del proceso de licenciamiento ambiental y no implica la autorización de acceso y aprovechamiento a recursos genéticos. (Decreto 3016 de 2013, art. 1).
Resolución RE_01318_2024 Cornare	Por medio de la cual se otorga un permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales. ARTÍCULO PRIMERO: otorgar el **permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica** con fines de elaboración de estudios ambientales, a la empresa INTEGRAL S.A., identificada con el NIT 890903055-1, a través de su representante legal suplente, el señor Carlos Andrés Laíno Cortissoz, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 71.778.662, para realizar las colectas en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare, de los siguientes especímenes de flora, fauna y comunidades acuáticas silvestres:

Documento	Objetivo / Aplicación
	ARTÍCULO SEGUNDO: VIGENCIA este permiso se otorga por un término de **dos (2) años contado a partir de la ejecutoria del presente acto administrativo**, o menos si el interesado así lo requiere. (**24/04/2024 – 23/04/2026**)
Resolución 1402/2018	Metodología General para la elaboración de Estudios Ambientales
Resolución 2206/2016	Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera.
Decreto 1090/2018	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones
Decreto 1390/2018	Por el cual se adiciona un Capítulo al Título 9, de la Parte 2, del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa Compensatoria por Aprovechamiento Forestal Maderable en bosques naturales y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2099/2016	Por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la "Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales" y se toman otras determinaciones
Decreto 2157/2017	Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.
Ley 1185/2008	por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 –Ley General de Cultura– y se dictan otras disposiciones.
Ley 1523/2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones
Ley 1658/2013	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones
Ley 2294/2023	Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026
Resoluciones 0627 de 2006, 909 de 2008 (modificada por las Resoluciones 1377 de 2015, 802 de 2014 y 1309 de 2010)	**Resoluciones 0627 de 2006**. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Artículo 14. Aplicabilidad del Ruido Ambiental: Los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental, deben ser utilizados para realizar el diagnóstico del ambiente por ruido. Los resultados se llevan a mapas de ruido los cuales permiten visualizar la realidad en lo que concierne a ruido ambiental, identificar zonas críticas y posibles contaminadores por emisión de ruido, entre otros. Las mediciones de ruido ambiental se efectúan de acuerdo con el procedimiento estipulado en los Capítulos II y III del Anexo 3, de esta resolución. **Resoluciones 909 de 2008**. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. CAPÍTULO XVIII. MEDICIÓN DE EMISIONES PARA FUENTES FIJAS Artículo 72. Métodos de medición de referencia para fuentes fijas. El Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial adoptará a nivel nacional el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Dicho protocolo contendrá los métodos de medición de referencia para fuentes fijas, los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas. Las mediciones de las emisiones atmosféricas deben estar de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Artículo 73. Métodos alternativos para realizar la medición en ductos y chimeneas. Cuando no sea posible realizar el estudio de emisión por cualquiera de los métodos de referencia establecidos en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, o cuando se facilite la aplicación de un método alternativo, la industria podrá solicitar a la autoridad ambiental competente la autorización para el empleo de un método alternativo de acuerdo a lo establecido en dicho protocolo. Artículo 74. Realización de mediciones directas. Todo encargado de realizar la toma de muestras, análisis de laboratorio y medición directa en campo de emisiones para verificar el cumplimiento de los

Documento	Objetivo / Aplicación
	estándares admisibles de contaminantes al aire, debe estar acreditado de conformidad con lo establecido en el Decreto 1600 de 1994, modificado por el Decreto 2570 de 2006 y la Resolución 0292 de 2006 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales o las normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan. Se aceptarán los resultados de análisis que provengan de laboratorios extranjeros acreditados por otro organismo de acreditación. Artículo 75. Medición continúa de las emisiones. El Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, debe determinar las condiciones a partir de las cuales las autoridades ambientales competentes podrán exigir mediciones continuas de emisiones contaminantes. Las condiciones deben incluir por lo menos la carga de los contaminantes emitidos, la cercanía con el estándar de emisión admisible de los contaminantes y la distancia entre la fuente y las poblaciones cercanas. Parágrafo: Para la definición de poblaciones cercanas, se debe aplicar lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas referente a estructuras cercanas. Artículo 76. Cumplimiento de estándares. El cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes se debe determinar mediante medición directa en cada fuente individual, para lo cual la fuente fija debe contar con un punto de descarga, de acuerdo a lo establecido en el CAPÍTULO XVII de la presente resolución. De no contar con punto de medición directa, la verificación del cumplimiento se realizará teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de balance de masas o factores de emisión. Parágrafo Primero: Los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire que se establecen en la presente resolución no serán aplicables durante los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos utilizados en la actividad. Parágrafo Segundo: Los responsables de las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios deben informar a la autoridad ambiental competente la duración de los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos de los procesos. Artículo 77. Realización de estudios mediante medición de emisiones. Los estudios de emisiones realizados para establecer el cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire deben cumplir con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

Fuente: Integral S.A., 2025

2.1.10 Antecedentes de seguimiento (actividades previas, marco licencia ambiental)

Mediante comunicación con radicado 2017014352-1-000 del 28 de febrero de **2017**, Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 1**, correspondiente al periodo comprendido entre el 21 de noviembre al 31 de diciembre de 2016. En este mismo sentido, el equipo técnico de la autoridad realizó visita de seguimiento entre los días 28 de febrero y 3 de marzo de 2017 y se emitió Concepto Técnico 2112 del 10 de mayo de 2017. En consecuencia, por medio del Auto 02076 de 30 de mayo de 2017 la autoridad realizó control y seguimiento ambiental al proyecto efectuando algunos requerimientos. En cumplimiento al **Auto 02076 de 2017** se presentó con radicados 2017053597-1-000 del 14 de julio de 2017, 2017057419-1-000 del 27 de julio de 2017, 2017063500-1-000 del 11 de agosto de 2017, 2017073223-1-000 del 8 de septiembre de 2017 y 201707323-1-000 del 21 de noviembre de 2017, la información requerida por la autoridad mediante el acto administrativo relacionado.

Mediante comunicación con radicado 2018022846-1-000 del 28 de febrero de **2018** Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 2**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2017. En consecuencia, por medio del **Auto 09183 de 31 de diciembre de 2018** la autoridad

realizó control y seguimiento ambiental al proyecto efectuando algunos requerimientos. Mediante radicado 2019016252-1-000 del 13 de febrero de 2019 se presentó a esta Autoridad respuesta a los requerimientos realizados mediante el Auto 09183 de 2018 por el cual se efectuó seguimiento y control ambiental.

Mediante comunicación con radicado 2019109506-1-000 del 29 de julio de **2019** Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 3**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2018. Luego de dos conceptos no conformes, Gramalote hace entrega de una tercera versión del documento, atendida por medio de comunicación con número de radicado ANLA 2020004265-2-000 del 14 de enero de 2020. Esta Autoridad una vez realizada nuevamente la Verificación Preliminar de ICA (VPI), identificó que la información geográfica y documental del Informe de Cumplimiento Ambiental del proyecto CUMPLE con los parámetros mínimos de acuerdo con lo establecido en el parágrafo primero1 del artículo cuarto de la Resolución 0077 del 16 de enero de 2019.

Mediante número VITAL 3500090008440720003 del 30 de junio de **2020** y radicado 2020105744-1-000 del 3 de julio de 2020 Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 4**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2019. A través de los radicados 2021098913-1-000 del 19 de mayo de 2021 y 2021099783-1-000 del 20 de mayo de 2021, la sociedad presentó respuesta al Acta 449 de control y seguimiento ambiental del 19 de noviembre de 2020 de acuerdo con lo previsto en el Concepto Técnico No. 06651 del 28 de octubre de 2020.

Mediante radicado 2021129243-1-000 del 25 de junio de **2021** Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 5**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2020. Bajo los radicados 2022114598-1-000 del 7 de junio de 2022 y 2022124468-1-000 del 17 de junio de 2022, se presentó a esta Autoridad respuesta a los requerimientos del Acta de seguimiento No. 694 de 2021.

Mediante comunicación con radicado 2022134609-1-000 del 30 de junio de **2022**, Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 6**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2021. Luego de tres devoluciones por completitud cartográfica Gramalote, mediante radicado 2022245284-1-000 del 1 de noviembre de 2022, allego una vez más y de manera completa el ICA No. 6. Luego de visita y reunión de seguimiento, las decisiones adoptadas en la reunión fueron acogidas mediante el Acta No. 875 del 30 de noviembre de 2022 y el Concepto Técnico No. de seguimiento 7325 del 28 de noviembre de 2022. Bajo el radicado 2022297545-1-000 del 30 de diciembre de 2022, se presentó respuesta a los requerimientos 1, 2 y 3 del Acta 875 del 30 de noviembre de 2022, en cumplimiento a lo establecido en el Concepto Técnico 07325 del 28 de noviembre de 2022.

Mediante comunicación con radicado 20236200287982 del 29 de junio de **2023**, Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 7**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2022. En este orden las decisiones adoptadas en la reunión fueron acogida mediante el Acta No. 723 del 20 de octubre de 2023 y el Concepto Técnico de seguimiento No. 6896 del 19 de octubre de 2023. Mediante el radicado No. 20236200893082 del 21 de noviembre de 2023, se presentó a la Autoridad Nacional, la respuesta a los Requerimientos 1 y 2 del Acta 723 de 2023.

En cumplimiento de sus funciones de seguimiento y control ambiental la autoridad realizó visita de manera presencial al proyecto durante los días 15 al 19 de abril de 2024. Es así como el 15 de mayo de 2024 se realizó la reunión de control y seguimiento a través de la plataforma Microsoft Teams. En este orden las decisiones adoptadas en la reunión fueron acogida mediante el Acta No. 205 del 15 de mayo de 2024 y el Concepto Técnico de seguimiento No. 3078 del 15 de mayo de 2024.

Mediante comunicación con radicado 20246200732952 del 28 de junio de **2024**, Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 8**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2023.

Por medio de comunicación con número de radicado ANLA 20244700635801 del 22 de agosto de 2024, una vez realizada la Verificación Preliminar de ICA (VPI), identificó que la información geográfica y documental del Informe de Cumplimiento Ambiental del proyecto CUMPLE con los parámetros mínimos indicados en las listas de chequeo ID_LC: 47586, de acuerdo con lo establecido en el Artículo Tercero de la Resolución 0549 del 2020, que modificó la Resolución 0077 del 2019, expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, dando como resultado CONFORME.

Mediante comunicación con radicado 20256200748482 del 27 de junio de **2025**, Gramalote presentó a la ANLA el **Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA) No. 9**, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2024. Anexo a este, se incluyeron las acciones de cumplimiento generales del PMA a partir del inicio de la etapa actual del proyecto.

2.1.11 Antecedentes gestión social

En el marco de la licencia ambiental otorgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales mediante la Resolución 1514 (2015), la modificación del estudio de impacto ambiental aprobada por la Resolución 00782 (2019), y sus políticas de sostenibilidad y relacionamiento comunitario, el Proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote ha venido implementando intervenciones en el territorio cumpliendo con las obligaciones en el instrumento ambiental según se consignaron en el numeral anterior. En complemento a ello, y de forma voluntaria y adicional según sus lineamientos corporativos la Empresa ha venido adelantando la estrategia de inversión Juntos Somos Comunidad, que propende por el fortalecimiento de las condiciones de calidad de vida y capacidades en el territorio, y cuyas acciones se presentan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Reseña de la inversión voluntaria adelantada por Gramalote

Línea de Acción	Proyecto	Metas
Fortalecimiento a organizaciones	Formación a líderes comunales	Gramalote ha desarrollado acciones de formación y fortalecimiento de capacidades dirigidas a las Juntas de Acción Comunal y a sus líderes, reconociéndolos como actores clave para la gestión y organización comunitaria. Entre 2024 y 2025, a través de convenios con la Participación Ciudadana de la Gobernación de Antioquia, Asocomunal y Presente Corporación, se implementaron procesos de fortalecimiento que beneficiaron a cerca de 19 Juntas de Acción Comunal y a sus dignatarios.

Línea de Acción	Proyecto	Metas
		Los procesos formativos abordaron temas como libros de JAC, roles y funciones, comités de conciliación, formulación de proyectos, Ley 2166 de 2021, planes de desarrollo, estatutos y habilidades blandas, contribuyendo al fortalecimiento del desempeño organizativo y del rol de liderazgo comunitario.
	Acompañamiento a organizaciones comunitarias del AID	*730 personas de participan del proceso de fortalecimiento comunitario. *24 organizaciones Comunales y Comunitarias *60proyectos formulados por la comunidad en las líneas de: Mejoramiento de infraestructura, Dotación, Proyectos Productivos, Acceso al agua. *Más de 150 horas de formación grupal en temas comunales y de gestión de proyectosen " y 116 horas de acompañamiento individual. *Más de 30 líderes empoderados en 3 nuevas organizaciones sociales: CODEM y CORPROVIDENCIA y MUPROVI
	Gobernanza del recurso hídrico	*3.660 usuarios se abastecen de las fuentes de agua administradas por los lideres que hacen parte del proceso. *35 lideres de organizaciones administradoras del recurso hídrico formados en habilidades blandas para su cuidado y preservación. *15 planes de trabajo formulados para el mejoramiento de sistemas de captación y abastecimiento. *2.500 usuarios beneficiados con la formulación de estudios y diseños del acueducto Providencia. *Proyecto de acueducto en la vereda La Trinidad.
	Inclusión y equidad de género	*700 Mujeres en el programa de fortalecimiento comunitario. *Participación en la creación de la política pública para las mujeres de San Roque. *Alianza con la Red de Mujeres para la dinamización de la Casa de la mujer San Roque. *Fortalecimiento de 8 grupos organizados de mujeres en educación, emprendimiento, fortalecimiento organizativo y prevención de VBG.
Educación y Cultura	Diplomado a docentes	*52 docentes finalizaron el diplomado en “Gestión del conocimiento para competencia docentes”
	Orientación vocacional	*89 estudiantes del grado 11, visitaron la U de A en la actividad “Camino a la U”. 22 estudiantes de la IER Providencia en el programa con el SENA: Introducción a la Minería
	Acompañamiento en áreas básicas	*650 estudiantes participan de orientación vocacional, competencias ciudadanas y formación en lógico-matemáticas y lecto-escritura, con ellos se realizaron las competencias de Olimpiadas del Saber y Concurso de Oratoria. *Concurso de Oratoria *Olimpiadas del Saber

Línea de Acción	Proyecto	Metas
	Sembradores de vida	*34 niños y jóvenes participan en proyectos ambientales de investigación. * 3 jóvenes han representado las investigaciones en los encuentros departamental y Nacional con RedColsi.
	Competencias ciudadanas	120 estudiantes se fortalecen en talleres de liderazgo y gestión social.
	Zonas de escucha	*80 personas de la comunidad educativa participan de los espacios de orientación psicológica.
	Escuela de padres	*550 padres de familia en talleres de escuela de padres, logrando fortalecer las relaciones familiares y escolares.
	Formación para la productividad	* *Manejo de explosivos y accesorios de voladuras: 60 participantes. *Salud y seguridad en labores mineras: 30 participantes. *Técnica en labores mineras subterráneas: 20 participantes *Manipulación de alimentos: 30 participantes. *Repostería: 40 participantes *Biopreparados y fertilizantes orgánicos *30 mujeres hicieron parte del programa de formación con enfoque de género en mantenimiento preventivo de motocicletas, con el aliado Yamaha. *20 mujeres beneficiarias del curso de cocina. *Lanzamiento del taller de joyería NUSKA – Orfebrería con Memoria
	Formación en danza, teatro y música	*500 estudiantes en 10 IER del AID del Proyecto participan en formación artística (Pintura, danza, teatro y música).
	Evokando	*100 adultos mayores participan en cinco grupos del programa Evokando con la Fundación Yamaha. *4 grupos de adultos mayores en los corregimientos de Providencia, San José del Nus y Cristales y uno en el casco urbano de San Roque. 2025
	Banda Sinfónica del Nus	Sinfónica del Nus: 40 niños y jóvenes conforman la Banda Sinfónica del Nus, se logró la participación en el VIII Seminario Internacional de Música Yamaha y en el campamento internacional de las Américas. *Participación en el VIII Seminario Internacional de Música Yamaha. *Participación en el campamento internacional de las Américas. 5 conciertos en el 2024. *Realización de 5 conciertos. *Participación en el VIII Seminario Internacional de Música Yamaha, realizado en Barranquilla. *Participación en el Campamento Internacional de las Américas, realizado en San Roque. *Realización del Seminario de Pedagogía y Didáctica Musical con profesores de la región. *Realización de 3 seminarios de Lutería (Reparación y mantenimiento de instrumentos) *Participación de la Sinfónica en FESTIBAND 2025 en República Dominicana. 2025 *Realización de 4 conciertos. 2025

Línea de Acción	Proyecto	Metas
		*Realización de 4 talleres de Lutería. 2025
Salud y Deporte	Plan de acción en salud: *Salud mental *Salud sexual y reproductiva *Prevención de consumo SPA *Actividad física y alimentación saludable *Seguridad vial	*Alianza GCL Secretaría de Salud de San Roque para promoción y prevención de salud. *327 personas sensibilizadas en actividades de seguridad y salud. *193 personas sensibilizadas en seguridad vial *57 gestoras comunales participando en el programa de formación de promotores en salud.
	Escuela de fútbol transformados	125 niños de 9 instituciones educativas del AID.
	Mi primer partido	140 niños y 20 adultos en 2024 y 2025 participan del proyecto mi Primer Partido
	Festivales Futboleros	Festivales Futboleros en Providencia, Cristales y San José del Nus, contando con la participación de más de 650 niños, niñas y jóvenes. Se dinamizó la economía con más de 100 emprendimientos sociales en los ciclos de actividades
	Escuela de Emprendimiento Juvenil	*85 niños participantes *6 líderes formados
Desarrollo socioeconómico	Emprendimiento y proveeduría local	*En alianza con la Cámara de Comercio del Magdalena Medio se realizó la cuarta Feria Proveedores Locales con énfasis en minería, logrando firmar 32 acuerdos con unidades productivas mineras. *16 capacitaciones en 3 corregimiento. 227 participantes, 1940 H7H. * 91 Rut gestionados en jornadas de formalización empresarial, con 250 personas atendidas. *110 emprendedores participando de jornada empresarial con más de 1.800 asistentes. *Cantero Cacao galardonada como Mujer Emprendedora a nivel nacional Congreso ACM. *Mermelucho: ponente en emprendimiento con propósito en Confecámaras Cartagena
	Sistema productivo panelero	*10 Jornadas de bienestar animal en 3 corregimientos y 7 trapiches: 350 familias beneficiadas. *jornadas de bienestar en 7 trapiches, 500 familias beneficiadas. *Mejoramiento de trapiches comunitarios: 3 trapiches beneficiados con jornadas de orden y aseo. *Formación en mejores prácticas agrícolas: 24 talleres en cultivos de caña, 350 asistentes. *Giras pedagógicas: 3 giras cultivo de caña, 2 giras cultivos de cacao, 2 giras de cítricos. 90 participantes.
Transformaciones territoriales	Mejoramiento de infraestructura	*600 personas beneficiadas con el mejoramiento de la I.E.R Providencia.

Línea de Acción	Proyecto	Metas
	Saneamiento y Abastecimiento de Agua Segura	Diseño acueducto corregimiento de Providencia
	Estudios a investigaciones	Implementación del Plan de intervención integral Providencia en alianza con la Fundación Berta Martínez, que beneficia 2.500 personas.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de Gramalote

2.2 ALCANCES

2.2.1 Alcance

De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos De Explotación Minería, el alcance se define como: "*atender lo establecido en los presentes términos de referencia de acuerdo a la pertinencia de los mismos respecto al proyecto minero, de igual manera debe verificar que no queden excluidos aspectos que puedan afectar y/o producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje*" (2016, p. 23).

En este orden de ideas, para definir el hasta dónde levantar información secundaria y primaria para cada componente ambiental destinado a elaborar la **Modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote**, adicional a lo establecido en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera 2016 y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, se han revisado las observaciones hechas por los equipos técnicos que han evaluado el proceso de licenciamiento y su modificación para el proyecto GRAMALOTE (Resolución 1514/2015, Resolución 0309/2016 y Resolución 0782/219).

Para la descripción del proyecto se presenta la síntesis del trabajo adelantado por las compañías consultoras especializadas y los profesionales de GRAMALOTE encargados de la optimización minera, siguiendo el orden que los Términos de Referencia establecen.

Para la caracterización abiótica, GRAMALOTE parte de los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidrogeológicos que se han adelantado a lo largo de la historia del proyecto para presentar estos cuatro componentes actualizados sobre la huella de la optimización del proyecto y aplicando los procesos metodológicos recomendados por el SGC (Servicio Geológico Colombiano) y verificando el cumplimiento de los términos de referencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales(ANLA).

El componente suelos se caracteriza a partir de la información presentada en el "Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote" 2015; esta se realizó con base en los términos de referencia para la caracterización de la línea base y la Metodología para la presentación de Estudios Ambientales (MAVDT, 2010) y las Normas Técnicas Colombianas para muestreo de suelos (NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 4113-3, NTC 4113-4 e ISO 10381-5), en la cual se definieron las características, límites y metodologías para el estudio de suelos a escala 1:10.000, considerando igualmente el Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del municipio de San Roque año 2022, el Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del municipio de Yolombo año 2021, así como, muestreos de suelos realizados en Gramalote en el 2022. .

La información primaria y secundaria para la caracterización del componente hidrológico corresponde a la utilizada en la etapa de diseños para factibilidad del proyecto, recalcando que su procesamiento y aplicación se encuentra alineada con las mejores prácticas en la ingeniería. La información meteorológica utilizada dentro del análisis atmosférico corresponde a las series y datos que se encuentran disponibles de forma oficial en el IDEAM, y sirven igualmente de base para caracterizar el componente aire. Sobre este último ítem, se debe aclarar que dicha caracterización es complementada con monitoreos

en campo. Calidad de aire y calidad de agua se soportan de forma adicional en la información histórica que es suministrada por GRAMALOTE, cuyo origen se encuentra relacionado con los monitoreos en campo que fueron adelantados por empresas certificadas.

El componente paisaje se presenta como componente del medio abiótico tal como lo establecen los Términos de Referencia de Minería, la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales 2018 y el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos de la ANLA, vigente mediante la Resolución 2182 de 2016; pero aplicando las recomendaciones metodológicas con énfasis en una visión de corte social.

El medio biótico se caracteriza a partir de una imagen de satélite actualizada que determina el mapa de ecosistemas y coberturas. A partir de información primaria, es decir, de muestreos en campo se caracteriza la flora, fauna y comunidades hidrobiológicas. Esta caracterización es complementada con información secundaria realizada en el área de estudio.

Para el medio socioeconómico, a partir de los espacios de participación, se elabora la caracterización de las comunidades que hacen parte del área de influencia considerando los elementos que constituyen los componentes: demográfico, espacial, económico, cultural, político – organizativo y sus tendencias, la cual se complementa con información secundaria oficial y diversos estudios elaborados por Gramalote Colombia.

Soportados en la caracterización del área de influencia, el área objeto de Modificación y la descripción del proyecto, siguiendo la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, se identifican los impactos, se homologan, se jerarquizan y se complementan las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación teniendo en cuenta el estado de la ejecución del Plan de Manejo Ambiental aprobado mediante Resolución 1514/2015 y modificada mediante Resolución 0309/2016 y 0782/2019.

2.2.2 Limitaciones y/o restricciones del EIA

Toda decisión con múltiples objetivos implica un grado de incertidumbre, asociada esencialmente a vacíos de información o a la relevancia de un objetivo sobre otros. A continuación, en la Tabla 2.6, se presentan los vacíos de información y la estrategia para minimizar la incertidumbre para la elaboración de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Tabla 2.6 Limitaciones y/o restricciones información Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Componente	Vacíos de información	Estrategia minimizar incertidumbre
Medio Abiótico		
Paisaje	No se contó con información detallada por parte de la Secretaría de educación, deporte, cultura y turismo, respecto a la solicitud de información asociada a sitios de interés paisajístico.	Se realiza la consulta y análisis a partir de información secundaría, Planes de Ordenamiento Territorial y talleres de caracterización en las reuniones de socialización con comunidades.
Medio socioeconómico		

Componente	Vacíos de información	Estrategia minimizar incertidumbre
Participación y socialización con las comunidades.	Ausencia de representación organizada de la población en las veredas La Linda de San Roque y Guacharacas de Yolombó a través de liderazgos comunitarios, Juntas de Acción Comunal, u otros con cualidad aglomerante.	Recorridos en terreno, identificación de propietarios de predios y actores sociales asociados a la unidad territorial, convocatorias dirigidas.
Demográfico, espacial, económico, cultural (comunidades no étnicas), político – organizativo.	Cartografía oficial sin correspondencia con el reconocimiento social del territorio en las unidades territoriales sanrocanas de Guacas Abajo y el sector Villanueva del corregimiento de Cristales.	Se implementa trabajo de cartografía social (ver ANEXOS_GENERALIDADES_CARTOGRAFÍA_SOCIAL).

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3 METODOLOGIA

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera: "*Se deben presentar las diferentes metodologías, completas y detalladas, utilizadas para la elaboración del EIA, incluyendo los procedimientos de recolección, el procesamiento y análisis de la información; sus memorias de cálculo y el grado de incertidumbre de cada una de ellas, así como las fechas o períodos a los que corresponde el levantamiento de información para cada componente y medio. Se debe utilizar información primaria y secundaria, de acuerdo con los términos de referencia y con las técnicas propias de cada una de las disciplinas que intervienen en el EIA*" (2016, p. 23). En este orden de ideas para la caracterización del área de influencia y para cada componente se tuvo en cuenta: (1) para los trabajos de campo la descripción de los procedimientos de recolección y la fecha o períodos a los que corresponde el levantamiento de información; y (2) para el trabajo de oficina el procesamiento y análisis de la información; memorias de cálculo y grado de incertidumbre. Para las zonificaciones, la identificación de impactos y los planes de manejo se presentan las metodologías propias de la actividad.

2.3.1 Metodología para la descripción del proyecto

De acuerdo con el artículo 2.2.2.3.1.1. del Decreto 1076 de 2015, el alcance de un proyecto, obra o actividad incluye: "*planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, abandono y/o terminación de todas las acciones, usos del espacio, actividades e infraestructura relacionados y asociados con su desarrollo*.", y la Metodología General para la Elaboración y Preparación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, establece que la descripción detallada debe incluir "*objetivo, localización, diseño y características técnicas, especificando entre otras, la duración del proyecto y el cronograma estimado para el desarrollo de sus actividades, las particularidades de cada una de sus fases, la infraestructura existente, los insumos que requiere, el manejo y forma de disposición de los residuos peligrosos y no peligrosos así como de los materiales que genere, los costos estimados y la estructura organizacional planteada para su ejecución.*" (MADS_ANLA, 2018, p. 89). En otras palabras, debe incluir la información suficiente y necesaria que le permita a la autoridad ambiental tomar una decisión en términos de la viabilidad ambiental del proyecto considerando la huella del proyecto, las actividades por fase y los impactos asociados.

Para la presentación de la optimización del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se asume la estructura planteada por los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera 2016, que exigen la presentación del mismo en siete ítems esencialmente: (1) localización, (2) características general del proyecto, (3) diseño del proyecto, (4) beneficio y transformación de minerales, (5) insumos del proyecto, (6) residuos y (7) costos, cronograma y organigrama.

Para presentar la descripción del proyecto se tienen como insumos el Plan de Trabajo y Obra que se presenta a la autoridad minera, los diseños de ingeniería hidráulicos, geotécnicos y de infraestructura. Esta información fue actualizada en paralelo con la **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**; por lo que el proceso de diseño involucró la validación de determinantes ambientales de manera permanente, para lograr un proyecto viable técnica, económica, ambiental y socialmente.

En la Tabla 2.7 se listan los componentes generales del proyecto y los consultores y equipo de Gramalote Colombia encargados de cada componente técnico en minería.

Tabla 2.7 Componentes generales del proyecto y consultores técnicos en minería

Actividad	Consultor encargado	Especialidad
Estructuración de la modificación de licencia	Integral S.A.	Ingeniería y consultoría
Diseños técnicos (vías, hidráulico, geotécnicos)	Integral S.A.	Ingeniería y consultoría
Actividades hidrogeológicas relacionados con diagnóstico de la red de piezómetros, lavado y monitoreos fisicoquímicos y muestreos hidroquímicos e isotópicos	SHI S.A.S	Consultoría en Hidrogeología
Modelo hidrogeológico numérico	SHI S.A.S	Consultoría en Hidrogeología
Línea base de calidad del agua superficial e hidrobiológicos	SGS	Consultora en monitoreos de calidad del agua superficial e hidrobiológicos
Definición de área de influencia atmosférica (Aire y Ruido), caracterización de la línea base de componente atmosférico y demanda de recursos emisiones atmosféricas	EYC Global	Consultora en monitoreo y modelaciones atmosféricas (Aire y Ruido)
Línea base de vibraciones, monitoreo de las vibraciones que se presentan en el territorio actualmente para la caracterización del área de influencia de la modificación de licencia ambiental	ORICA	Consultora en monitoreo y análisis en uso de explosivos y sistemas de voladuras, entre otros.
Diseño sedimentadores y depósitos estériles	Tierra Group International	Consultor en componentes geotécnicos para la concepción, diseño, construcción y operación de las estructuras materiales de la industria minera.
Diseño de planta de Beneficio	Lycopodium	Consultor encargado de fase de estudio y diseño de ingeniería para planta de procesamiento minero.
Línea base de la caracterización del río Nus y efluentes para determinar los tiempos de viaje	GOTTA Ingeniería	Consultora en muestreos en recurso hídrico en relación con levantamientos topográficos y batimétricos, hidrología, hidráulica, ordenamiento del recurso hídrico, calidad del agua, hidrogeología e instrumentación ambiental

Fuente: Integral S.A., 2025

El documento presenta como introducción textos y tablas de equivalencias entre las obras licenciadas y las obras nuevas u ajustadas que son objeto de modificación.

2.3.2 Metodología Definición, identificación y delimitación del área de influencia

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, el área de influencia es la: "*zona en la cual se manifiestan los impactos ambientales significativos, y su identificación y delimitación está estrechamente vinculada a la caracterización ambiental y a la evaluación ambiental (numerales 4 y 7 de este capítulo), pues son procesos que dependen los unos de los otros y que deben realizarse de forma conjunta e iterativa hasta establecer una superficie que satisfaga la definición de área de influencia*." (ANLA_MADS, 2018, p. 90). Lo que implica que el enfoque metodológico propenda por identificar para cada componente del ambiente el o los impactos generados y si estos son o no significativos.

Para establecer si un impacto es significativo o no, la MGEPEA 2018 recomienda considerar dos elementos esenciales para garantizar que el área de influencia establecida sea la adecuada: (1) el concepto de ambiente y (2) el concepto de impacto significativo. Entendiendo como ambiente la "*Fracción del globo terráqueo que comprende los elementos naturales, tanto físicos como biológicos, los elementos artificiales, sociales y culturales, y las interacciones de éstos entre sí*" (ANLA_MADS, 2018, p. 90) y como impacto significativo "*aquellos impactos negativos directos, indirectos, sinérgicos y/o acumulativos, que por la afectación que producen al ambiente resultan de importancia para la sociedad, que los valora tomando en consideración múltiples perspectivas a fin de tomar una decisión respecto de la viabilidad ambiental de emprender el proyecto que los generaría*." (ANLA_MADS, 2018, p. 90).

Teniendo claros los conceptos de ambiente y de impacto ambiental significativo, se hace necesario, establecer, a partir de la huella o área proyecto definida para la modificación de la licencia, un análisis de un área que pueda conjugar estos dos conceptos; es decir, definir una fracción de globo en la cual se manifiestan impactos negativos directos, indirectos, sinérgicos y/o acumulativos, que por la afectación que producen al ambiente resultan de importancia para la sociedad. Con dicha huella o área proyecto definida, se verifican las consideraciones citadas por la autoridad en la MGEPEA 2018, tal como se presenta en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Determinantes ambientales Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Consideraciones	Verificado (si/no/parcial)
El alcance de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. De acuerdo con los Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA proyectos de explotación minera incluye la planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, finalización y/o terminación de todas las acciones, actividades e infraestructura relacionada y asociada con las etapas de desarrollo, incluido el desmantelamiento y abandono de minas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote considera las obras y actividades objeto de modificación, las obras denominadas como obras nuevas y las obras no objeto de modificación.	Si
La huella del proyecto. Que se define como la superposición de las obras y actividades objeto de modificación y las obras denominadas como obras nuevas para los medios abióticos y socioeconómicos. Para el medio biótico se consideran las obras y actividades objeto de modificación, las obras denominadas como obras nuevas y las obras no objeto de modificación.	Si

Consideraciones	Verificado (si/no/parcial)
El proyecto, obra o actividad y sus actividades asociadas y/o relacionadas incluyen la planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, operación y mantenimiento, así como el desmantelamiento, abandono, y/o terminación de todas las acciones, usos del espacio y remoción de la infraestructura permanente y temporal relacionada y asociada con su desarrollo.	Si
En caso de que se requieran vías de acceso al proyecto, para la delimitación del área de influencia se deben considerar por lo menos las vías nuevas (construidas como parte del proyecto) y las vías privadas que el proyecto pretenda utilizar.	Si
Las unidades mínimas de análisis por componente del ambiente. Entendiendo unidad mínima de análisis cuencas hidrográficas, ecosistemas, unidades territoriales, y cualquier otra que el componente permita delimitar.	Si
Calidad de la información para línea base: la caracterización ambiental de las áreas de influencia debe presentar información primaria y secundaria para cada componente, grupo de componentes o medios.	Si
La modelación de los componentes de los medios abiótico y bióticos que apliquen de acuerdo con el comportamiento de cada componente cuando aplique (modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos de interés, modelación de ruido; modelación de los vertimientos en aguas superficiales, fragmentación y/o conectividad).	Si
Las unidades sociales territoriales definidas en los Términos de Referencia a partir de la delimitación del territorio que constituye una unidad de análisis seleccionada dependiendo del nivel de detalle con el que se requiera la información. Esta unidad se aplica para la definición del área de influencia de los componentes del medio socioeconómico, y puede coincidir con la división político-administrativa de los entes territoriales reconocidos legalmente, o responder a una adopción social reconocida por la misma comunidad.	Si
Incidencia socioeconómica de los impactos abióticos y bióticos: evaluar la forma en que los impactos generados por el proyecto en los medios abiótico y biótico inciden sobre los elementos socioeconómicos del área.	Si
Evaluación de impactos significativos por componente: el área de influencia de cada componente puede contener en su interior áreas diferenciadas para cada factor ambiental, siempre y cuando cada una de éstas se refiera a la superficie en la cual se manifiestan los impactos ambientales significativos generados por el proyecto sobre dicho factor particular.	Si
La sensibilidad ambiental de los componentes de cada medio (abiótico, biótico y socioeconómico) que, de acuerdo con los TdR-13, se entienden como el potencial de afectación (transformación o cambio) que pueden sufrir los componentes ambientales como resultado de la alteración de los procesos físicos, bióticos y socioeconómicos debidos a las actividades de intervención antrópica del medio o debido a los procesos de desestabilización natural que experimenta el ambiente.	Si
Cambio o alteración sobre los servicios ecosistémicos, entendidos como los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad.	Si
Proceso iterativo de análisis: de acuerdo con los Términos de Referencia para la identificación y delimitación del área de influencia del proyecto se deben definir áreas de influencia preliminares por componente, grupo de componentes o medio, sobre las cuales se caracterizan, identifican y evalúan los impactos ambientales. Posteriormente, como resultado de la caracterización y evaluación ambiental (que hacen parte de la elaboración del EIA), se debe realizar un proceso iterativo, que permita ajustar las áreas de influencia preliminares, obteniendo así las áreas de	Si

Consideraciones	Verificado (si/no/parcial)
influencia definitivas por componente, grupo de componentes o medio, y finalmente, el área de influencia del proyecto.	

Fuente: Integral S.A., 2025

Adicional a la información secundaria y primaria, la MGEPEA 2018 recomienda que la misma: "*debe ser planteada en función de unidades de análisis tales como: cuencas hidrográficas, provincias hidrogeológicas, sistemas acuíferos, unidades ambientales costeras, ecosistemas, unidades de paisaje, unidades territoriales político-administrativas, o cualquier otra que se identifique en la formulación del EIA*" (ANLA_MADS, 2018, p. 93). Asimismo, se considera:

Para el medio abiótico:

- Zona del proyecto que será directamente intervenida con obras civiles e infraestructura permanente y temporal asociado a las actividades de instalación, ejecución y mantenimiento de este (vías, campamentos, zona de depósito de excavación (ZODME), plataformas e infraestructura asociada, y áreas de movilidad y multipropósito, talleres, plantas y demás construcciones según el proyecto formulado).
- Zonas en las que se prevé la intervención por el uso y/o aprovechamiento de recursos naturales (captaciones, vertimientos, ocupaciones de cauce, entre otros) y
- Zonas hacia las cuales trascienden los impactos significativos provocados por las actividades ejecutadas en el área de intervención y en el área de uso y aprovechamiento de recursos naturales (ANLA_MADS, 2018, p. 94).

Esta delimitación debe considerar además del análisis de la información primaria y secundaria que deriva de la caracterización ambiental, los resultados de modelos analíticos (ANLA_MADS, 2018, p. 94).

Para el medio biótico:

- La delimitación del área de influencia debe idealmente partir del ecosistema como unidad mínima de análisis, identificando estas unidades mediante la metodología planteada en el documento Memoria Técnica del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000 (IDEAM *et al*., 2017). (ANLA_MADS, 2018, p. 96);

Y para el medio socioeconómico:

- Las unidades territoriales contenidas en los municipios, que pueden corresponder a los corregimientos, veredas, sectores de vereda, barrios, inspecciones de policía, u otras unidades reconocidas administrativa o socialmente. (ANLA_MADS, 2018, p. 97).
- Para identificar y delimitar el área de influencia del medio socioeconómico, es necesario analizar la forma en que los impactos previstos para los medios abiótico y biótico afectan a la población y sus relaciones económicas, sociales y culturales. (ANLA_MADS, 2018, p. 97)
- La delimitación del área de influencia para el medio socioeconómico se debe realizar a partir de la identificación y descripción de las dinámicas propias de las relaciones funcionales del territorio. (ANLA_MADS, 2018, p. 98)

Finalmente, el área de influencia de un proyecto, obra o actividad es producto de la envolvente de la superposición de las áreas de influencia por componente, donde cada componente define su área de influencia para su fase más crítica en el tiempo. No se puede perder de vista, que algunas actividades generan una huella mayor en etapa de construcción, otras podrán hacer lo propio en actividades preliminares o en fase de operación.

Para cada componente y/o grupo de componentes, se establece la identificación del impacto y los criterios de delimitación para definir el polígono final que se denomina área de influencia para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Esto atendiendo al requerimiento de la MGEPEA 2018 que dice que: "*las áreas de influencia para cada componente, grupo de componentes o medios, además del área de influencia del proyecto; todas ellas deben estar debidamente sustentadas y cartografiadas*" (2018, p. 93)

A partir de los lineamientos señalados anteriormente, la identificación y delimitación del área de influencia para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se efectúa en tres fases:

Fase previa: en esta fase se debe plantear un área de influencia preliminar y recopilar para la misma, información primaria y secundaria (de tipo cualitativo y/o cuantitativo) a fin de obtener una aproximación al conocimiento de las características del ambiente (línea base ambiental), de forma que sea posible realizar una primera predicción de la forma en que dichas características se impactarían durante el desarrollo y operación del proyecto (identificación y valoración de impactos). (ANLA_MADS, 2018, p. 93).

Fase de campo: sobre un área de influencia previa, el equipo de profesionales estructura el trabajo para el levantamiento de información primaria en terreno, con el fin de tener información actualizada para la realización de los análisis posteriores, que buscan validar la extensión del impacto de acuerdo con las condiciones actuales.

Fase de análisis: sobre un área de influencia previa, y con las corroboraciones del trabajo de campo, el equipo de profesionales que elaboran el estudio cuenta con información suficiente y necesaria para definir un área de influencia final para cada componente, grupo de componentes y finalmente para cada medio y producto de ellas, un área de influencia definitiva para el proyecto.

Cada una de estas fases se desarrolló empleando sistemas de información geográfica (SIG) y modelos analíticos avanzados para integrar y visualizar información primaria y secundaria, modelos de dispersión de impactos y escenarios temporales, facilitando un análisis espacial robusto y dinámico.

2.3.3 Metodología Caracterización medio abiótico

2.3.3.1 Metodología caracterización componente geología

Para cumplir con el objetivo general de conocer las condiciones geológicas existentes para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se incluyen las siguientes etapas:

- Recopilación y evaluación de la información existente,
- Interpretación y análisis de imágenes aéreas y de satélite,

- Reconocimiento de campo,
- Análisis geológico y estructural,
- Exploraciones del subsuelo, y
- Procesamiento y análisis de la información.

2.3.3.1.1 Recopilación y evaluación de la información existente

Se lleva a cabo la revisión de información base del componente geología, tanto secundaria extraída de informes, mapas y documentos del Servicio Geológico Colombiano, como de universidades en sus trabajos de investigación y entidades privadas que han desarrollado estudios en el sector, así como aquella información secundaria y primaria que hace parte del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

La información base en términos geológicos corresponden a las planchas geológicas del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y a los estudios específicos ejecutados por Integral S.A en el área de geología adelantados en el Estudio de Impacto Ambiental ejecutado en 2015, en la Modificación del Impacto Ambiental ejecutado en 2018 y en actividades de consultoría ejecutadas para el canal Guacas en 2022.

2.3.3.1.2 Interpretación y análisis de imágenes aéreas y de satélite

El Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote cuenta con imágenes áreas y satelitales que cubren la totalidad del área de influencia y que se usan para identificar características geológicas, los rasgos estructurales y patrones de drenaje con la finalidad de actualizar la información relacionada con las unidades litológicas y aquellos rasgos estructurales importantes como son silletas, cauces alineados de algunas corrientes, y cambios de pendiente, entre otros.

Las imágenes con las fechas más actualizadas se usan para delimitar los procesos morfodinámicos de manera que se pueda conocer la evolución multitemporal de esos procesos.

2.3.3.1.3 Reconocimiento de campo

Definidas las obras nuevas y las obras objeto de se hicieron múltiples recorridos de campo en el área de influencia preliminar, que han permitido identificar los materiales geológicos aflorantes y los rasgos tectónicos presentes en los terrenos, además de las condiciones de estabilidad en los sitios de obras proyectadas. En el marco de esta modificación se realizaron recorridos con el fin de actualizar y recolectar datos en áreas específicas donde se ejecutarán obras claves del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

2.3.3.1.4 Análisis geológico y estructural

Considerando la información primaria y secundaria mencionada en cuanto a las unidades litológicas y las estructuras tectónicas, se presenta la descripción detallada de las mismas, a nivel regional y local en lo que corresponden al área de influencia abiótica, según la integración de la información más relevante se determinan tanto las condiciones del subsuelo como las formaciones superficiales presentes en los terrenos.

2.3.3.1.5 Exploración del subsuelo

Durante la fase de exploración del proyecto, el levantamiento de la línea base para el Estudio de Impacto Ambiental, la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de 2018 y la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de 2025 (tramite actual) se han llevado a cabo perforaciones, calicatas, líneas de refracción sísmica y sondeos eléctricos verticales (SEV) con la finalidad de determinar los distintos horizontes de suelo, sus características y entender los niveles freáticos de los horizontes. Toda información disponible y generada se usa para la determinación de las propiedades de los materiales del subsuelo y la construcción de los perfiles geológicos – geotécnicos necesarios para las obras del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

2.3.3.1.6 Procesamiento y análisis de la información

A partir de la información obtenida tanto primaria como secundaria, el proceso de interpretación de imágenes, el trabajo de campo, e integrando los resultados de la información recolectada de las exploraciones del subsuelo, se realiza la caracterización geológica además de las características estructurales del área del proyecto, estimando las unidades litológicas que se encuentran en la zona. De esta manera, el presente informe contiene la compilación de toda la información necesaria con respecto a la caracterización de las unidades litológicas para las obras que componen el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

2.3.3.1.7 Geología del yacimiento

En este subcapítulo se incluye la descripción litológica, referencia de edad, origen, espesor, distribución y posición en la secuencia de las distintas unidades litológicas, lo cual es el resultado de la exploración geológica adelantada. Se incluye la caracterización geoquímica de cada uno de los niveles litológicos a intervenir con el desarrollo del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, con la finalidad de evaluar los impactos se pueda establecer la potencialidad de formación de drenajes ácidos y lixiviación de metales en el tiempo, así como de neutralización, para posteriormente proponer e incluir las medidas de manejo ambiental.

2.3.3.1.8 Geoquímica del yacimiento

La caracterización geoquímica del yacimiento Gramalote y la evaluación de su potencial de su potencial de generación de drenaje ácido (DAR) se desarrollaron a partir de la integración de la información geológica, mineralógica, geoquímica y de diseño minero disponible para el proyecto. Como punto de partida, se definieron dominios geoquímicos mediante el análisis conjunto de la litología, las alteraciones hidrotermales, las zonas de meteorización y la distribución de la mineralización dentro del área proyectada para explotación. Debido a la relativa homogeneidad geológica del yacimiento, dominado por rocas tonalíticas y granodioríticas, los dominios geoquímicos fueron diferenciados principalmente por la presencia y tipo de alteración hidrotermal, así como por las condiciones de meteorización representadas por las unidades de saprolito y roca saprolítica.

La selección de muestras se realizó utilizando núcleos provenientes de perforaciones de exploración ejecutadas en el depósito. Para garantizar la representatividad de los materiales evaluados, se consideraron tres criterios fundamentales:

(i) La distribución espacial de las muestras tanto en profundidad como en extensión lateral dentro del futuro tajo

(ii) La inclusión de todos los dominios geoquímicos identificados
(iii) La representatividad composicional de las diferentes combinaciones de litología, mineralización, alteración hidrotermal y características estructurales. Generalmente se seleccionaron intervalos de entre 1 y 2 m de núcleo, obteniendo muestras con masas entre 3 y 5 kg para los análisis de laboratorio.

Las actividades de muestreo incluyeron procedimientos de almacenamiento, identificación y control de calidad. Cada muestra fue empacada en bolsas de polietileno, debidamente etiquetada y acompañada de registros que incluían coordenadas, profundidad, litología, contenido estimado de vetillas y tipo de alteración. Para la preparación de muestras compuestas se empleó el método de cono y cuarteo, con el fin de reducir el volumen de material manteniendo su representatividad.

El número de muestras requerido para la evaluación fue definido mediante criterios de representatividad asociados al tamaño del tajo proyectado, la variabilidad de los materiales presentes y el nivel de incertidumbre aceptable para el estudio. Adicionalmente, se aplicó la ecuación propuesta por Price (2009) para estimar la cantidad mínima de muestras necesarias para la evaluación del drenaje ácido, considerando la masa de material potencialmente expuesta a procesos de oxidación en las paredes y fondo del tajo. Este análisis indicó un requerimiento mínimo de 61 muestras, valor ampliamente superado durante la investigación.

La caracterización geoquímica se ejecutó en dos fases. En la primera fase se analizaron 57 muestras representativas de diferentes rangos de azufre, molibdeno y grados de alteración hidrotermal. Posteriormente, una segunda fase incorporó 523 muestras adicionales obtenidas de sondeos de exploración, las cuales fueron analizadas principalmente para contenido total de azufre y carbono inorgánico total. En conjunto, el programa permitió disponer de una base de datos robusta para evaluar la variabilidad geoquímica de los materiales que conforman el yacimiento

La evaluación incluyó diferentes líneas de análisis complementarias:

(i) Caracterización mineralógica, mediante difracción cuantitativa de rayos X (QXRD) y estudios petrográficos, orientados a identificar minerales de sulfuro, carbonatos y minerales trazas presentes en las rocas del depósito.
(ii) Pruebas estáticas de potencial ácido, incluyendo análisis de Balance Ácido-Base (ABA), determinación de potencial ácido (AP), potencial de neutralización (NP), relación NP/AP (NPR), contenido total de azufre, carbono inorgánico total y pH en pasta.
(iii) Pruebas de Generación Neta de Ácido (NAG), empleadas para verificar la clasificación de los materiales como potencialmente generadores de ácido (PAG) o no generadores de ácido (no-PAG).
(iv) Análisis elementales, enfocados en la identificación de elementos potencialmente tóxicos y de enriquecimientos geoquímicos anómalos vinculados con la mineralización y las diferentes unidades litológicas.

Adicionalmente, se realizaron ensayos de lixiviación de corto y largo plazo con el fin de evaluar la posible movilidad de metales y el comportamiento geoquímico de los materiales una vez expuestos a condiciones ambientales. Estas pruebas incluyeron ensayos de extracción de lixiviados mediante matraces de agitación, pruebas cinéticas en celdas de humedad y pruebas en barriles de campo construidos con materiales representativos de las

paredes del tajo y de la roca estéril. Durante estos ensayos se monitorearon variables como pH, sulfatos, alcalinidad y concentraciones de diferentes elementos traza.

Finalmente, todos los resultados obtenidos fueron integrados en el modelo geológico tridimensional del yacimiento para evaluar la distribución espacial del potencial de generación de ácido, establecer relaciones entre la mineralización y los elementos potencialmente tóxicos, y generar perfiles de interpretación para las diferentes zonas de mineralización correspondientes a saprolito, transición y roca fresca.

2.3.3.2Metodología caracterización componente Geomorfología

Para cumplir con el objetivo general de conocer las condiciones geomorfológicas y de morfodinámica de los terrenos que hacen parte de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se dispuso un plan de trabajo que incluyó las siguientes etapas:

- Recopilación y evaluación de la información existente,
- Análisis jerárquico,
- Interpretación y análisis de imágenes de satélite con énfasis en la morfodinámica,
- Reconocimiento de campo, y
- Procesamiento y análisis de la información.

2.3.3.2.1 Recopilación y evaluación de la información existente

Se llevó a cabo la revisión de información base de los componentes de geomorfología tanto secundaria extraída de informes, mapas y documentos del Servicio Geológico Colombiano, como de universidades en sus trabajos de grado y entidades privadas que han desarrollado estudios en el sector, así como aquella información secundaria y primaria que hace parte del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote en su fase de licenciamiento y modificación de licencia.

2.3.3.2.2 Análisis Jerárquico

Para la determinación de unidades geomorfológicas de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se siguen los lineamientos de jerarquización propuestos por (Carvajal, 2011) (Figura 2.1), con un enfoque de análisis a partir de un proceso analítico del terreno desde una visión regional a local. De esta forma, según la escala aplicada, se tiene una base regional de génesis geológica para las geoformas y los ambientes morfogenéticos. Por otro lado, una base detallada según expresión morfológica, litológica y de procesos morfodinámicos.

También se tiene en cuenta la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del SGC (2012), ya que esta describe el origen y la evolución de la denominada unidad geomorfológica.



Figura 2.1 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS por Carvajal, 2011

Fuente: (Carvajal, 2011)

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica, se analizan los terrenos desde lo regional hasta lo local, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle está basado en los ambientes morfogenéticos, la expresión morfológica, la litología y los procesos morfodinámicos.

Acorde con el esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, la escala de trabajo identifica elementos geomorfológicos en el rango de unidad hasta componente, la escala de trabajo empleada para este estudio es de 1:5.000 y está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el material o la disposición estructural de éstos con la correspondiente topografía del terreno.

2.3.3.2.3 Interpretación y análisis de imágenes de satélites con énfasis en la morfodinámica multitemporal

Para determinar el análisis y la evolución de los procesos morfodinámicos y la identificación de las geoformas se realiza un proceso de interpretación de imágenes satelitales e imágenes aéreas disponibles.

Estas cubren en su totalidad el área de influencia, lo que permite identificar la evolución de los procesos morfodinámicos en diferentes años y además la cartografía de los procesos más recientes, en la Tabla 2.9 se presentan los recursos utilizados para este análisis y para el estudio multitemporal. Adicionalmente, se usan las imágenes disponibles en Google Earth cuyo porcentaje de nubosidad lo permita.

Tabla 2.9 Imágenes y fotografías aéreas utilizadas en el análisis multitemporal

Vuelo/ Faja	Fotografías	Escala	Año
Fuente: Sensores remotos			
Imagen satelital	Imagen Google Earth con toma temporal en el 100 % del polígono del Proyecto Gramalote.		2015
Modelo Digital de Terreno/Ortofoto	Levantamiento con tecnología LiDAR en plataforma aerotransportada		2018
Imagen satelital	Imagen Google Earth con toma temporal en el 95 % del polígono del Proyecto Gramalote		2021
Imagen satelital	Ortoimagen EarthScanner - JL-1KF01 de archivo, Pansharpened, Multiespectral 4 Bandas		2023
Ortofoto	Levantamiento con dron por GCL. Tamaño de píxel de 0,05		2025
Fuente: Gramalote Colombia Limited			
9	871- 879	1:12 000	2011
10	897- 905		
11	933- 941		
12	906- 912		
13	947- 955		
14	177- 185		
15	501- 505 y 985- 987		
16	480- 486		
23	071- 084 y 452- 456		
24	604-605 y 611- 614		
24E	457- 461		
Fuente: Catastro Departamento de Antioquia			
21	883-886	1:10 200	1996
22	841-848	1:9 650	
23	265-272	1:9 550	
24	254-260	1:9 850	
25	223-229	1:9 800	
26	213-218	1:9 800	
27	176-182	1:9 650	
28	164-170	1:9 400	
29	1060-1063	1:10 250	
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi			
C-1526	009-010-066-067-068-084-085-103-104-105	1:25 800	1974

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.3.2.4 Reconocimiento de campo

Se ejecutan recorridos de campo, encaminados a la identificación de las geoformas que hacen parte del paisaje y los rasgos morfodinámicos presentes, además de las condiciones de estabilidad de los terrenos. Durante el trabajo de campo se hace el reconocimiento de

las geoformas y se identifican procesos morfodinámicos y zonas de inestabilidad, con la finalidad de estimar las amenazas que puedan llegar a afectar el área de influencia.

2.3.3.2.5 Proceso y análisis de la información

Este análisis corresponde a la descripción de los tipos de relieve que se encuentran dentro del área de influencia definido por una jerarquización geomorfológica que se hace de acuerdo con el punto de vista de evolución geológica, en donde los procesos endógenos y procesos exógenos, son los agentes modeladores de la superficie. Bajo estas premisas se presenta el análisis geomorfológico, donde se analizan variables morfométricas como las pendientes del terreno y su curvatura para así definir las unidades morfogenéticas y las condiciones morfodinámicas, relacionadas con los procesos erosivos y los movimientos en masa.

Adicionalmente, se realiza el mapa de pendientes que es una variable cuantitativa y continua, derivada del modelo digital de elevación (DEM). Los rangos de pendientes se ajustan con el fin de visualizar, detallar o discriminar los rasgos de inclinación de laderas. Para este proyecto los rangos empleados son: (0-1) %, (1-3) %, (37) %, (7-12) %, (12-25) %, (25-50) %, (50-75) %, (75-100) % y (>100) %.

A partir de la información obtenida tanto primaria como secundaria, el proceso de interpretación, el trabajo de campo, e integrando los resultados de la información recolectada se realiza la caracterización geomorfológica, con las principales geoformas y su morfodinámica. A partir de la integración de la información, se construyen los mapas temáticos que se listan continuación:

- Mapa geomorfológico.
- Mapa de pendientes.
- Mapa de procesos morfodinámicos.

Finalmente, se lleva a cabo el análisis de susceptibilidades antes la ocurrencia de procesos erosivos, ante procesos de remoción en masa y avenidas torrenciales.

A. Susceptibilidad ante la ocurrencia de procesos erosivos

Para estimar la susceptibilidad ante la ocurrencia de procesos erosivos se utilizó el método de la Ecuación de Pérdida de Suelos (USLE) descrito por Wischmeier & Smith, (1978) que evalúa los efectos del clima, suelo, topografía, cultivos y prácticas de conservación en la erosión de una pendiente o en una cuenca.

La modificación a la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) define la susceptibilidad a la erosión (Se) en función de cinco parámetros, algunos con características propias de los terrenos y otros asociados a agentes externos como los meteorológicos (Ecuación 2.1).

$$Se = 0{,}162 \times V + 0{,}0092 \times Lm + 0{,}0057 \times Es + 0{,}0187 \times s + 0{,}023 \times Geo + 0{,}228$$

Ecuación 2.1 Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

Donde:

V: Vegetación

Lm: Lluvia

Es: Escorrentía

s: Pendiente

Geo: Geología

El mapa de susceptibilidad se obtiene tras computar la Ecuación 2.1, según la metodología de Ceballo & Toro, (2012), se clasifica por medio del método de los expertos bajo la plataforma del software ArcGIS.

a. Parámetro Vegetación (V)

A cada tipo de cobertura se le asigna una calificación para el parámetro V según su susceptibilidad a los procesos erosivos, siendo 1 el menor grado de susceptibilidad (Muy baja) y 5 el mayor grado de susceptibilidad (Muy alta).

b. Parámetro Lluvia (Lm)

Como insumo para determinar la influencia de la precipitación, en cuanto a procesos erosivos, se utiliza un índice de precipitación calculado como la relación entre la precipitación media anual (PMA) en mm/año y el valor de la precipitación media mensual máxima.

c. Parámetro Escorrentía (Es)

Este parámetro evalúa el comportamiento o flujo preferencial del área de escorrentía dentro del área de influencia. Para su calificación, se utiliza la opción de: Acumulación de Flujo del conjunto de herramientas de modelamiento hidrológico bajo la plataforma del software ArcGIS (Spatial Analyst – Hydrologic Modeling). La salida ráster resultante da cuenta del volumen de flujo acumulado en cada píxel según la distribución geoespacial de todos los puntos en el área de influencia abiótica del proyecto.

d. Parámetro Pendiente (s)

La definición de la pendiente con fines de evaluación de la susceptibilidad a los procesos erosivos se hace por medio de una reclasificación de los rangos de pendiente como se indica en la Tabla 2.10. Posteriormente se les asigna una calificación, siendo las zonas de mayor pendiente mucho más susceptibles y las zonas planas menos susceptibles.

Tabla 2.10 Rangos de pendiente (s)

Rango de pendiente (%)	Peso	Calificación
< 2	1	Muy baja
2 - 13	2	Baja
13 - 20	3	Media
20 - 55	4	Alta
> 55	5	Muy alta

Fuente: Ceballo & Toro, 2012

e. Parámetro geología (geo)

Para la determinación de este parámetro, a cada una de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia se le asigna una calificación de 1 a 5 de acuerdo con el criterio de los expertos teniendo en cuenta lo establecido por (Ceballo & Toro, 2012). Los autores manifiestan que los materiales asociados a depósitos cuaternarios comprenden el tipo de unidad de susceptibilidad máxima.

B. Susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

El análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa busca relacionar las condiciones intrínsecas del terreno con la posible ocurrencia de movimientos en masa. De esta manera un mapa de susceptibilidad contiene información sobre el tipo de movimientos morfodinámicos y las áreas más probables para su ocurrencia.

Para estimar la susceptibilidad se empleará la metodología planteada por (Ramírez & González, 1989) (Ramírez & González, 1989) que involucra la identificación previa de las unidades de terreno (zonas homogéneas). Posteriormente, se evalúan cuatro parámetros que se citan a continuación, y por último se integran todas estas variables con la ayuda de los Sistema de Información Geográfica (SIG) bajo la plataforma ArcGIS (Ecuación 2.2).

$$SRM = M + R + D + V$$

Ecuación 2.2 Susceptibilidad por remoción en masa

Donde:

M: Tipo de material – Geología

R: Relieve – Pendiente del terreno y formas del relieve

D: Drenaje

V: Vegetación – Cobertura vegetal

Posteriormente se realiza la implementación del SIG sobre el mapa base digital del área de influencia y la información temática georreferenciada. La evaluación de variables se ejecuta con base en la información obtenida y la determinación de los pesos de cada una de ellas, para determinar finalmente la susceptibilidad por remoción en masa.

Los parámetros son evaluados mediante la asignación de valores, donde los altos definen zonas estables, mientras que bajos se asocian a zonas inestables, obtenidos a partir de la suma ponderada de los índices de los factores asociados a cada parámetro, para finalmente obtener el valor de “calificación de estabilidad” (CE) del cual se pueden definir diferentes niveles de susceptibilidad. A continuación, se presenta la descripción de los parámetros intrínsecos, denominados por las letras M para el tipo de material, R para el relieve, D para drenaje y finalmente V para la vegetación. Su forma de evaluación y los valores utilizados para el presente estudio, según las condiciones propias de las unidades de terreno identificadas.

Los valores que determinan la calificación de la susceptibilidad por remoción en masa se presentan en la Tabla 2.11, siendo el límite superior zonas de menor estabilidad y el límite inferior aquellas áreas de mayor susceptibilidad, está condición de susceptibilidad se presenta en tres categorías, definido a partir del criterio de expertos.

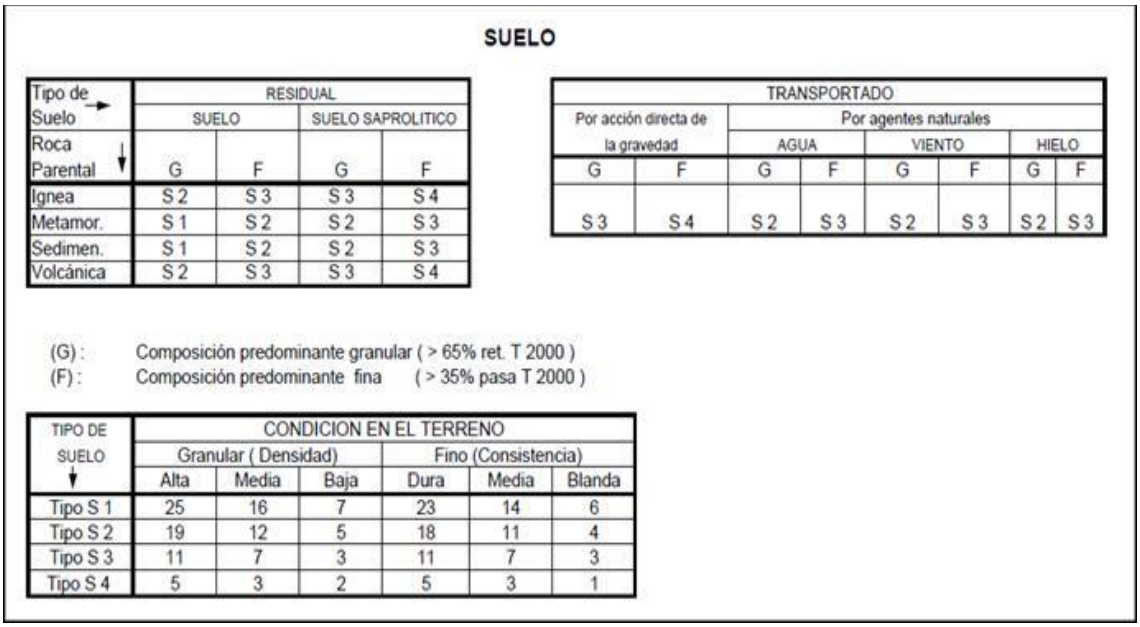
Tabla 2.11 Categorías de susceptibilidad por remoción en masa

Grado de susceptibilidad	Calificación de la susceptibilidad
>80	Baja
55-80	Media
≤55	Alta

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

a. Parámetro material (M)

Desde el punto de vista del comportamiento geomecánica, el material que conforma las unidades de terreno se puede clasificar como roca, material intermedio o suelo. El término roca agrupa los horizontes de meteorización I y II según la Norma BS 5930 – Code for practice for site investigations. El material intermedio posee menos del 70% de matriz y corresponde a los horizontes de meteorización III y IV, según la Norma BS 5930. La erodabilidad de la matriz se analiza mediante un análisis comparativo con los demás materiales intermedios del área de influencia. Por último, se considera suelo aquel material que tiene más del 30% de matriz y se evalúa su origen "in situ" (V y VI) o transportado. En la Figura 2.2 se muestran las calificaciones para el parámetro Material a partir de los valores de calificación.



SUELO

Tipo de Suelo → / Roca Parental ↓	RESIDUAL			
	SUELO		SUELO SAPROLITICO	
	G	F	G	F
Ignea	S 2	S 3	S 3	S 4
Metamor.	S 1	S 2	S 2	S 3
Sedimen.	S 1	S 2	S 2	S 3
Volcánica	S 2	S 3	S 3	S 4

TRANSPORTADO							
Por acción directa de la gravedad		Por agentes naturales					
		AGUA		VIENTO		HIELO	
G	F	G	F	G	F	G	F
S 3	S 4	S 2	S 3	S 2	S 3	S 2	S 3

(G) : Composición predominante granular (> 65% ret. T 2000)
(F) : Composición predominante fina (> 35% pasa T 2000)

TIPO DE SUELO ↓	CONDICION EN EL TERRENO					
	Granular (Densidad)			Fino (Consistencia)		
	Alta	Media	Baja	Dura	Media	Blanda
Tipo S 1	25	16	7	23	14	6
Tipo S 2	19	12	5	18	11	4
Tipo S 3	11	7	3	11	7	3
Tipo S 4	5	3	2	5	3	1

Figura 2.2 Valores de calificación para el parámetro M

Nota: En el recuadro rojo se presentan los pesos asignados a los materiales del área de estudio.

Fuente: (Ramírez & González, 1989)

b. Parámetro relieve (R=A+B)

Este parámetro evalúa dos factores fundamentales: pendiente promedio del terreno (A) y forma del relieve (B), o sea el perfil longitudinal de la unidad del terreno. En la Tabla 2.12 se muestran los valores que se determinan según el tipo de relieve que se caracteriza en los terrenos en estudio.

Tabla 2.12 Valores de R en función de la pendiente y la forma del perfil de la ladera

Terreno	Rango de pendiente (°)	Puntaje A	Perfil del terreno	Puntaje B
Interfase	0 - 5	22	Cóncavo	6
Ladera con infiltración	5 - 10	15	Rectilíneo	3
Ladera con reptación	10 - 30	9	Convexo	0
Escarpe - ladera rectilínea	30 - 45	12		
Ladera de transporte	20 - 30	6		
Ladera coluvial	10 - 20	7		
Aluviones	0 - 5	22		
Ladera cercana al cauce	> 45	6		

Fuente: Modificado de Ramírez & González, (1989)

El mapa de pendientes del terreno se construye a partir de información temática de la cartografía base bajo el Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual se reclasificó con los rangos de pendientes sugeridos por la metodología de (Ramírez & González, 1989).

c. Parámetro drenaje

Este parámetro evalúa dos factores: densidad de drenaje y pendiente promedio del cauce (Tabla 2.13). Debido a que la densidad de drenaje depende de las características litológicas, climáticas y topográficas, los rangos de densidad baja, media o alta deberán establecerse para cada ambiente geológico.

Tabla 2.13 Valores del parámetro D – Pendiente y densidad de drenaje

Pendiente del cauce (%) / Densidad de drenaje	Calificación parámetro D		
	Baja (0 - 25)	Media (25 - 45)	Alta (>45)
Bajo – 0 – 2,25	35	30	23
Medio – 2,26- 13,5	25	19	13
Alto - > 13,5	16	10	6

Fuente: Modificado de Ramírez & González, (1989)

La Ecuación 2.3 define como se calcula la densidad de drenaje:

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Ecuación 2.3 Densidad de drenaje

Donde:

Lc: Longitud total de los cursos de agua en metros

A: área de la cuenca (Ha)

d. Parámetro Vegetación (V)

Se evalúan tres factores para integrar este parámetro, esto es: pendiente del terreno, tipo de vegetación y porcentaje de área cubierta por esta. Se establecen cuatro tipos de vegetaciones en los cuales se intenta asociar aquellos que bajo una misma condición tengan efectos similares en la estabilidad de las laderas. Es necesario aclarar que para

efectos metodológicos los nombres de los tipos de vegetación citados en la Tabla 2.14 son genéricos, por tanto, el tipo de cobertura vegetal presente en el área de influencia serán homologados a estos nombres.

Tabla 2.14 Valores del parámetro V – Vegetación

Pendiente / Tipo de vegetación	Calificación parámetro V		
	0-20°	20-45°	>45
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto	32	25	19
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes / zona urbana pavimentada	27	17	7
Pastos o vegetación herbácea / Vegetación secundaria o en transición / zona urbana sin pavimentar	25	14	6
Cultivos limpios o desmonte / canteras	20	8	3
Rasgos rurales	12	5,5	0
Rasgos urbanos	6	0	0
Ríos (50 m)	32	32	32

Fuente: Modificado de Ramírez & González, (1989)

C. Susceptibilidad ante procesos de avenidas torrenciales

Se estima la susceptibilidad ante las avenidas torrenciales con la metodología establecida por (CORCUENCAS, 2017) que involucra las cuencas, el índice de Melton, el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), las zonas geomorfológicas y la existencia de eventos de tipo torrencial en el área de influencia.

Lo primero que se realiza es identificar las cuencas y asignar un identificador IC para cada cuenca. Las variables que se tienen en cuenta para determinar las zonas en las cuales el caudal y la forma puedan generar eventos torrenciales se presentan en la Figura 2.3.

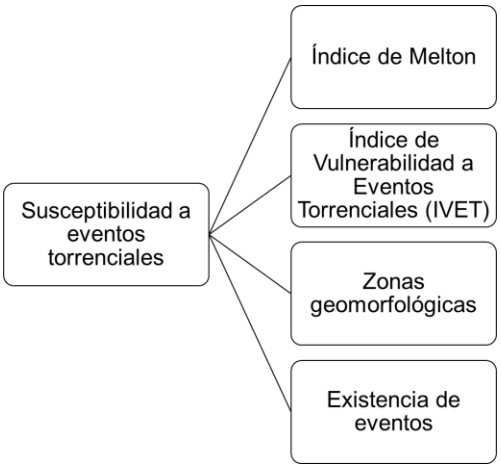


Figura 2.3 Variables que determinan la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Fuente: (CORCUENCAS, 2017)

a. Índice de Melton

La zonificación de la susceptibilidad para avenidas torrenciales se realiza a través del análisis de las características morfométricas e hidrológicas de cada subcuenca. Para las

microcuencas que conforman el área de influencia se calcula el Índice de Melton, con el propósito de clasificar la torrencialidad de cada una de ellas. En la Ecuación 2.4se presenta la ecuación del Índice de Melton.

Índice de Melton= (H_máx - H_mín) × S^ (-0,5)

Ecuación 2.4 Índice de Melton

Dónde Hmáx y Hmín son la cota de altura máxima y mínima de la cuenca y S, es el área de la cuenca.

b. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)

El Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), se calcula en este caso para las microcuencas abastecedoras y representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Este índice varía cualitativamente desde muy bajo a muy alto y particularmente depende de dos variables: el Índice de Variabilidad (IV) y el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT) como se muestra en la Figura 2.4.

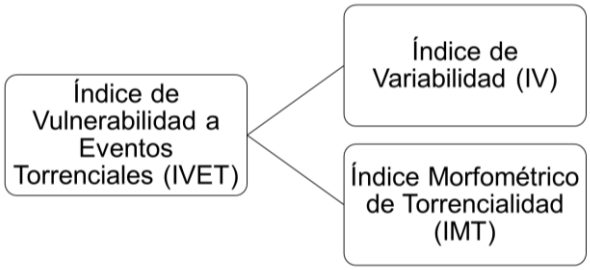


Figura 2.4 Índices implícitos en el cálculo de IVET

Fuente: (CORCUENCAS, 2017)

c. Índice de Variabilidad (IV)

Muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos (IDEAM, 2013). El Índice de Variabilidad (IV) se define como se expresa en la Ecuación 2.5.

$$Índice\ de\ Variabilidad = \sqrt{\frac{\sum(LogQ_i - LogQ_{prom})^2}{n-1}}$$

Ecuación 2.5 Índice de Variabilidad

Donde:

Q_i: caudales tomados de la curva de duración de caudales.

Q_{prom}: caudal promedio.

n: número de datos tratados.

De esta forma, se tiene que en la Tabla 2.15 se presenta la calificación de la susceptibilidad por el Índice de Variabilidad (IV).

Tabla 2.15 Categorías de susceptibilidad del Índice de Variabilidad (IV)

Índice de Variabilidad (°)	Peso	Categoría de susceptibilidad
< 10	1	Muy baja
10,1 – 37	2	Baja
37,1 – 47	3	Moderada
47,1 - 55	4	Alta
> 55	5	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

d. Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)

Este índice integra el coeficiente de compacidad o de forma de Gravelius, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje (parámetros morfométricos), los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, así como la eficiencia o rapidez de la escorrentía y los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación, con el fin de poder inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad de dicha cuenca a eventos torrenciales (Huertas U., 2016).

En la Tabla 2.16 se presentan las relaciones para categorizar el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT) y en la Tabla 2.17 se presenta la escala de calificación.

Tabla 2.16 Relaciones para categorizar el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km^2)	Categoría y calificación de la susceptibilidad				
			Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km^2)	1:10.000	< 15	< 1,50	1,51 – 2,0	2,01 – 2,5	2,51 – 3,0	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1.2	1,21 – 1,8	1,81 – 2,0	2,01 – 2,5	> 2,5
	1:100 000	> 50	< 1,0	1,01 – 1,5	1,51 – 2,0	2,01 – 2,5	> 2,5
Pendiente media de la cuenca (%)			Accidentado	Fuerte	Muy fuerte	Escarpado	Muy escarpado
	1:10.000	< 15	< 20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	> 75
	1:25.000	> 50	< 15	16 – 30	31 – 45	46 – 65	> 65
Coeficiente de compacidad de Gravelius			Oval – oblonga a rectangular – oblonga	Oval – redonda a oval – oblonga		Casi redonda a oval-redonda	
			< 1,51	1,376 – 1,5	1,251 – 1,375	1,126 – 1,250	1,0 – 1,125

Fuente: (IDEAM, 2013)

Tabla 2.17 Relaciones entre variables para el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1	Coeficiente de compacidad de Gravelius
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	
		Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta		
		1	2	3	4	5		

Fuente: (IDEAM, 2013)

De esta forma, para el cálculo de densidad de drenaje se utiliza la Ecuación 2.6.

$$Densidad\ de\ drenaje = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Ecuación 2.6 Ecuación para el cálculo de densidad de drenaje

Donde Lc_i es la longitud total de los cursos de agua (perennes o intermitentes) de cada cuenca en km y A es el área de la cuenca en km^2.

Para el cálculo de la pendiente media de la cuenca se utilizan las funciones correspondientes al software ArcGIS.

Para el cálculo del coeficiente de compacidad de Gravelius se emplea la Ecuación 2.7 y en la Tabla 2.18, se presenta la susceptibilidad asociada con este coeficiente para cada una de las cuencas presentes en el área de influencia.

$$Kc = 0{,}28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 2.7 Coeficiente de compacidad de Gravelius

Donde P corresponde al perímetro de la cuenca en km y A al área de la cuenca en km^2.

En cuanto a la clasificación de susceptibilidad, los valores bajos del coeficiente de Gravelius (cercanos a 1, como 1-1.2) sugieren una forma más redonda y, por ende, una alta probabilidad de crecidas o torrencialidad, y viceversa, las formas alargadas (valores más altos) tienen menor susceptibilidad a generar crecidas, el peso asignado se presenta en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Clasificación del coeficiente de compacidad y Gravelius y la categoría de susceptibilidad

Coeficiente de compacidad de Gravelius	Peso	Categoría de susceptibilidad
> 1,5	1	Muy baja
1,4 – 1,5	2	Baja
1,3 – 1,4	3	Media
1,1 - 1,2	4	Alta
< 1.1	5	Muy Alta

Fuente: Gravelius H., 1914

De acuerdo con la Tabla 2.19 se clasifica la Susceptibilidad por Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT) de las cuencas del área de estudio.

Con base en la información anterior, se procede a calificar el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales que se expresa como la relación existente entre las características de la forma de una cuenca (IMT) que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas (IV) en dicha cuenca (IDEAM, 2013).

Tabla 2.19 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)

Índice de Variabilidad	Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Media	Media
Baja	Baja	Baja	Media	Media	Alta
Media	Baja	Media	Media	Alta	Alta
Alta	Media	Media	Alta	Alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: (IDEAM, 2013)

e. Zonas Geomorfológicas

Para la caracterización de las zonas geomorfológicas es necesario tener en cuenta la susceptibilidad de dos variables que se integran a este parámetro, correspondientes a las subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno.

I. Subunidades geomorfológicas

Corresponde a las geoformas (subunidades geomorfológicas) generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación ya sea torrencial o aluvial que varían en función de la pendiente del terreno, el caudal y la carga de sedimentos de los drenajes que interactúan en el área de influencia o los procesos denudativos, estructurales o antropogénicos actuantes en la zona.

Las subunidades geomorfológicas presentes que generalmente son susceptibles a presentar un evento torrencial, son aquellas que presentan moderadas pendientes y están ligadas en su desarrollo a un sistema fluvial o torrencial relacionadas con la inundación de zonas con bajo índice de relieve durante la época de alta pluviosidad asociadas al desborde

temporal del río sobre terrazas, abanicos aluviales o planos de inundación; estas unidades al estar asociadas a las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales de finos a arcillosos aumentan su cota de nivel, durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos, constituyéndolos como depósitos fluvio – lacustres (limosos y arcillosos con tendencia heterogranulométricos poco sorteada) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación, generados por el desbordamiento y dinámica natural del río. Para la calificación se emplea la Tabla 2.20.

Tabla 2.20 Susceptibilidad geomorfológica para zonificar avenidas torrenciales

Símbolo	Subunidad geomorfológica	Peso	Calificación
Dcr	Colina residual	2	Baja
Dcrmd	Colina residual muy disectada	2	Baja
Dco	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión	3	Media
Dlfl	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	4	Alta
Dlde	Lomos denudados	2	Baja
Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales	1	Muy baja
Deeme	Escarpe de erosión menor	1	Muy baja
Del	Ladera erosiva	2	Baja
Dlmd	Lomeríos muy disectados	2	Baja
Dlpd	Lomeríos poco disectados	2	Baja
Dldmm	Lomo denudado moderado de longitud media	2	Baja
Slf	Lomo de falla	3	Media
Fca	Cauce aluvial	4	Alta
Fpac	Planicie aluvial confinada	3	Media
Fpi	Plano o Llanura de inundación	4	Alta
Fcdy	Cono de deyección	4	Alta
Aemc	Explotación minera	2	Baja
Ar	Planos y campos de llenos antrópicos	1	Muy baja
Asp	Superficies de explanación	1	Muy baja

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Unidades de terreno

Las unidades de terreno son aquellas geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionadas con las formas del relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve, donde el análisis permite identificar geoformas asociadas a procesos torrenciales y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a este fenómeno natural. Las unidades de terreno hacen referencia a las unidades de paisaje

descritas por (Zinck, 2012) y en la Tabla 2.21, se presenta la calificación de susceptibilidad para las mismas de acuerdo con las condiciones del terreno en la zona de estudio.

Tabla 2.21 Calificación de susceptibilidad de las unidades de terreno a eventos torrenciales

Unidad de paisaje	Subunidad geomorfológica	Peso	Calificación
Valle	Planicie de inundación (Fpi)	4	Alta
	Planicie aluvial confinada (Fpac)	4	Alta
	Cauce aluvial (Fca)	4	Alta
Otras áreas	Planos y campos de llenos antrópicos (Ar)	1	Muy baja
	Explotación minera	1	Muy baja
	Superficies de explanación	1	Muy baja
Piedemonte	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	3	Media
	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra (Dlfl)	3	Media
	Ladera erosiva	3	Media
	Lomos denudados	3	Media
	Colina residual	3	Media
	Colina residual muy disectada	3	Media
	Cono de deyección	3	Media
Lomeríos	Lomeríos poco disectados	2	Baja
	Lomo denudado moderado de longitud media	2	Baja
	Lomo de falla	2	Baja
	Lomeríos muy disectados	2	Baja
	Montículos y ondulaciones denudacionales	2	Baja
	Escarpe de erosión menor	2	Baja

Fuente: Integral S.A., 2025

Teniendo estos dos parámetros se califica la susceptibilidad por zonas geomorfológicas en el área de influencia con base en la matriz de la Tabla 2.22.

Tabla 2.22 Tabla de calificación para las zonas geomorfológicas

Unidades de terreno	Subunidades geomorfológicas				
	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Media	Media
Baja	Baja	Baja	Media	Media	Alta
Moderada	Baja	Media	Media	Alta	Alta
Alta	Media	Media	Alta	Alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Integral S.A., 2025

Con base en lo anterior, se obtuvo la clasificación se susceptibilidad de zonas geomorfológicas que se muestra en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Susceptibilidad a avenidas torrenciales en las zonas geomorfológicas en el área de estudio

Zonas Geomorfológicas		Categoría de susceptibilidad
Unidad de paisaje	**Subunidad geomorfológica**	
Valle	Planicie de inundación (Fpi)	Alta
	Planicie aluvial confinada (Fpac)	Alta
	Cauce aluvial (Fca)	Alta
Otras áreas	Planos y campos de llenos antrópicos (Ar)	Muy Baja
	Explotación minera	Baja
	Superficies de explanación	Muy Baja
Piedemonte	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	Media
	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra (Dlfl)	Alta
	Ladera erosiva	Media
	Lomos denudados	Media
	Colina residual	Media
	Colina residual muy disectada	Media
	Cono de deyección	Alta
	Lomeríos poco disectados	Baja
Lomeríos	Lomo denudado moderado de longitud media	Baja
	Lomo de falla	Media
	Lomeríos muy disectados	Baja
	Montículos y ondulaciones denudacionales	Baja
	Escarpe de erosión menor	Baja
	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	Media

Fuente: Integral S.A., 2025

f. Zonificación de susceptibilidad a avenidas torrenciales

Con base en los valores del índice de Melton, el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), las zonas geomorfológicas y la presencia de eventos torrenciales, se categoriza en general a todas las cuencas presentes que componen el área de influencia, asignándole una ponderación igual a cada una de las variables equivalentes al 25% de importancia.

2.3.3.3 Metodología caracterización componente Paisaje

El capítulo de paisaje se desarrolla teniendo en cuenta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018) y los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de explotación minera TdR-13 (ANLA, Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera., 2016). Para ello, la elaboración del componente de paisaje se desarrolla siguiendo los lineamientos de los documentos mencionados, para los cuales se contemplan tres elementos principales, a saber: i) fisiografía y geomorfología, ii) coberturas de la tierra asociadas a cada ecosistema y, iii) percepción visual del paisaje. Así mismo, se incluye el análisis de los atributos que conforman el paisaje como: calidad visual, fragilidad visual y atractivo escénico.

Complementando finalmente con la identificación de sitios de interés paisajísticos, la interacción del proyecto con el paisaje y la percepción de la comunidad respecto al paisaje que lo rodea. En ese orden de ideas, a continuación, se presenta la metodología adoptada para definir, describir y analizar el área de influencia del componente de paisaje.

Como insumo inicial para la determinación del impacto por la Alteración en la percepción visual del paisaje se empleó la herramienta "Paisaje Visual" de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales presentada en el Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental (ANLA, 2023). Considerando que según (Smardon *et al*., 1986; Amir y Gidali-Zon, 1990; Johnson, 1990; Johnston y Naiman, 1990 y Al-Kodmany, 1999, citados por Solari y Cazorla, 2008)[1], "*El enfoque desde donde se estudia y analiza el paisaje es el paisaje perceptible o paisaje visual que se enfoca hacia el sentido estético o de percepción, como combinación de las formas y colores del territorio. Interesa como expresión espacial y visual del medio, como conjunto de los caracteres físicos del medio físico y biótico, perceptibles con la vista. Se concreta en lo que el observador es capaz de percibir de ese territorio y parte de una base, la realidad territorial, que constituye el objeto de estudio"* y, por tanto, el paisaje perceptible se entiende como una construcción conjunta entre los elementos físicos y biológicos del territorio y la percepción del observador, siendo este último quien otorga significado estético y cultural a la realidad territorial que conforma el objeto de estudio, en ese sentido se parte de las cuencas visuales, para ello se emplea, la herramienta generada por la Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales, la cual permite realizar una cuantificación automatizada de la cuenca visual de un proyecto mediante sistemas de información geográfica (SIG). Lo que facilitó la identificación del área potencialmente impactada por alteraciones en la percepción visual del paisaje, como parte de una evaluación preliminar de este impacto. Para ellos se usó el software ArcGis Pro y la herramienta "Paisaje Visual", el cual requiere:

- Modelo de elevación digital.
- Capa de infraestructura.
- Altura de la infraestructura, con base en la información de las obras se establecen las alturas de estas.
- Radio de análisis, para el cual se establece un rango de 8 km, establecido entre límites típicos de 5 km y los 10 km establecidos por Morláns (n.d).
- Refracción atmosférica, se usa la que por defecto trate la herramienta "Paisaje Visual" de 0,13.
- Densidad poblacional.

Para ejecutar el geoproceso de "Paisaje Visual" se emplea un mosaico de DEMs (Modelo Digital de Elevación) resultado de fusionar dos DEMs individuales de diferente resolución. El primero construido a partir de un modelo LIDAR junto con la topografía de las obras del proyecto que sobresaldrán en el terreno, como lo son los depósitos y las plataformas, y que cubren toda el área de intervención del proyecto. Este Modelo Digital del Terreno -MDT presenta una resolución espacial de 5 m.

Para completar y cubrir la extensión geográfica del análisis de cuencas visuales en su totalidad (8 km), se tomó un DEM Alos Palsar con resolución espacial de 12,5 m, al cual se

[1] UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. "Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje". [En línea]. Fecha. [11 enero de 2022]. Disponible en (https://www.researchgate.net/publication/337122081_Valoracion_de_la_calidad_y_fragilidad_visual_del_paisaje).

le extrajo la zona cubierta por el MDT detallado, y así poder tener un solo DEM para el proceso.

El feature class de Infraestructura al cual se le evalúa el impacto, corresponde a la huella definida para el proyecto, en el cual se detallan las obras con su altura respectiva en metros (obras dentro de la Planta, Plataforma de Trituración, Campamento, Zonas de Servicio).

La capa de Densidad Poblacional se trabaja a nivel de vereda, dónde cada unidad territorial que se encuentra dentro de los 8 km del radio de análisis presenta su dato correspondiente de número de personas sobre el área de la unidad territorial, cuyo valor es tomado de información del SISBEN (2021 – 2025). Con lo anterior, se pudo establecer la cuenca visual y/o área de influencia del paisaje considerando el desarrollo del proyecto objeto de modificación y su entorno.

2.3.3.3.1 Fisiografía y geomorfología

Esta corresponde al análisis de los elementos que conforman el paisaje, los cuales generan características específicas que permiten establecer las unidades de paisaje. A continuación, se presentan los atributos que conforman el análisis de la fisiografía y geomorfología del paisaje:

A. Elementos del paisaje

La determinación del paisaje se realiza teniendo en cuenta el análisis de ecología del paisaje realizado en el estudio de impacto ambiental de 2015 y la modificación de licencia ambiental de 2018 del proyecto Gramalote, ya que este analiza tres elementos estructurales básicos como son matriz, parche o fragmento y corredor. A continuación, se presentan los conceptos dados en los documentos citados.

> *La caracterización de los elementos constitutivos del paisaje se considera desde la identificación, delimitación y estudio integrado de la ecología del paisaje, a partir de la propuesta metodológica de Andrés Etter[2].*
>
> *La ecología del paisaje como ciencia integradora, cuyo objetivo es caracterizar los ecosistemas con base en la heterogeneidad espacial del paisaje, permite establecer relaciones entre los tipos de vegetación y las características del ambiente (clima, suelos, topografía, perturbaciones) en una región y escala determinadas.*
>
> *El análisis del paisaje está basado en la caracterización de las geoformas y la cobertura, bien sea natural o cultural y tiene como finalidad el acercamiento a una prospectiva del uso racional de los recursos naturales, a través de la planificación del uso sostenido de la tierra.*
>
> *Para este análisis se determinan entonces, tres elementos estructurales básicos:*
>
> *Matriz: se define como matriz, aquel tipo de elemento del paisaje que ocupa la mayor área relativa es el elemento más extenso y el más interconectado. (…)*
>
> *Parche o fragmento: se define como una superficie no lineal de tamaño variable que difiere fisionómicamente de sus alrededores, y que posee un grado de homogeneidad interno.*

[2] ETTER, A. Introducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de integración para los levantamientos rurales. Bogotá. 1991. 83 p.

Corredor: es una franja angosta y alargada, de forma y dirección variable que atraviesa una matriz y difiere de ella, su propiedad es unir o separar elementos dentro de una matriz geográfica.

A continuación, en la Figura 2.5 se aprecia la forma de los elementos estructurales, de acuerdo con la metodología de (Etter, 1991).

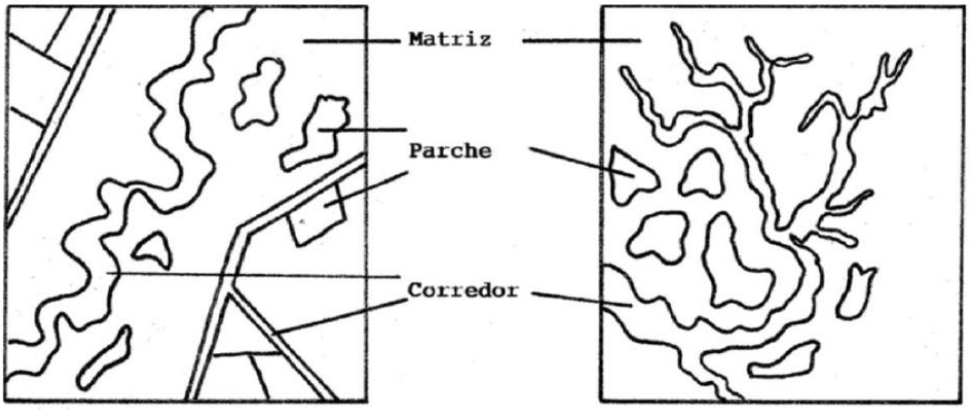


Figura 2.5 Elementos estructurales del paisaje

Fuente: (Etter, 1991)

Para el análisis se utilizaron las coberturas de la tierra elaboradas para el presente estudio de impacto ambiental objeto de modificación, las cuales como se señala en el numeral 2.3.4.1.2 Coberturas Terrestres., se llevó a cabo una fotointerpretación a escala de trabajo 1:7.500, con una unidad mínima cartografiable de 0,14 ha, y con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Dicha interpretación fue realizada bajo el software ArcMap 10.8 a partir de una imagen satelital ortorrectificada capturada por el satélite EarthScanner - JL-1KF01, los días 20 y 23 de julio de 2023. La imagen cuenta con una resolución espacial de 0,50 metros/píxel, resolución espectral de cuatro (4) bandas (Azul, Verde, Rojo y NIR), resolución radiométrica de ocho (8) bits, ángulo de toma ≤ 20°, y procesamiento ortorrectificado con RPCs y modelo digital de elevación (DEM).

Es importante destacar que para el componente de paisaje se usa esta identificación descriptiva para el mismo, en cuanto al enfoque de conectividad este se presenta de manera detallada en el subcapítulo de Conectividad Ecológica Funcional del medio biótico.

B. Unidades del paisaje

Las unidades de paisaje se determinan asociando las temáticas de coberturas de la tierra y unidades geomorfológicas identificadas en el área de influencia de paisaje, ya que, tal como lo indica (Etter, 1991), dicha asociación permite la *"detección y el análisis de la expresión sintética contenida en los patrones repetitivos, que a su vez permiten acumular experiencia y extrapolar situaciones y modelos*.

El Fenosistema de un paisaje se compone de dos partes principales:

a) La Geoforma, la cual se refiere a todos los aspectos que tienen que ver con la morfología de la superficie terrestre como son:

- *Relieve-volumen.*

- *Forma y longitud de pendientes.*
- *Tipo y densidad de disección del patrón de drenaje.*

b) La Cobertura que se refiere a todos los aspectos que forman parte del recubrimiento de la superficie terrestre, ya sean de origen natural o cultural. Generalmente son de orígenes bióticos, o bien producidos por algún tipo de actividad biótica y/o antrópica. Estos incluyen:

- *Fisonomía y composición de la cobertura vegetal expresada por las formas de vida dominantes y sus formas de asociación.*
- *Estratificación de biomasa.*
- *Coberturas naturales no bióticas (hielo, agua, rocas...).*
- *Coberturas culturales (edificaciones, infraestructura...).*[3]*"*

Sin embargo, durante el desarrollo de los cruces se puede presentar una cantidad considerable de resultados, en ese sentido partiendo de (Muñoz-Pedreros, 2004), en el que señala que la "*delimitación de unidades de paisaje requiere, primeramente, la identificación de las áreas que poseen un mismo carácter paisajístico, y más tarde, la acotación de estas zonas, atendiendo a las transiciones y fronteras que se producen entre diferentes patrones de paisaje*". En ese sentido, se desarrolló una homogenización de las unidades de paisaje con el fin de reducir la redundancia y complejidad nominal permite análisis más objetivos y comparables, haciendo operativa la información para el análisis de las unidades de paisaje. La agrupación se realizó basada en funcionalidad ecológica y dinámica morfogenética: Soporta diagnósticos coherentes a múltiple escala y evita sesgos por nomenclatureo excesivamente fragmentado, y con el fin de facilitar la toma de decisiones en planificación territorial, ambiental y análisis de sensibilidad, al proveer un marco robusto de referencia espacial y funcional. Para ello, se desarrolló de la siguiente manera:

- Revisión y Preprocesamiento de la Información

Se partió de una base de datos entregada en formato estructurado que contiene, por cada polígono o unidad espacial, la cobertura del suelo y la unidad geomorfológica correspondiente. La revisión inicial permite identificar patrones repetidos y nomenclaturas heterogéneas derivadas de los procesos de mapeo originales.

- Definición de Categorías para Agrupación Geomorfológica

Se construyó un diccionario técnico donde unidades geomorfológicas con características funcionales y morfodinámicas similares son agrupadas bajo una categoría mayor (ej.: "Colina residual" y "Colina residual muy disectada" como "Colina", "Lomo residual" y "Lomos denudados" como "Lomas"). La justificación radica en que estas variantes representan formas y procesos asociados equivalentes a escala del análisis de paisaje, simplificando la clasificación para el manejo territorial y ambiental.

- Definición de Categorías para Agrupación de Coberturas

Mediante criterios sintácticos y semánticos (búsqueda de palabras clave y análisis de la función/uso ecológico), las coberturas se agrupan en grandes clases funcionales: por ejemplo, todos los tipos de "ríos", "lagunas, lagos y ciénagas naturales", "zonas arenosas naturales" son tipificados como "cuerpos de agua", los "bosques de galería" y variantes

[3] ETTER, A. Introducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de integración para los levantamientos rurales. Bogotá. 1991. 83 p.

como “Bosque”, y así sucesivamente para cultivos, cobertura secundaria, pastos, usos urbanos, industriales, etc. La motivación técnica: los procesos ecológicos y contribución funcional al paisaje suelen ser consistentes dentro de esas tipologías madres, facilitando interpretación y análisis del paisaje.

- Combinación y Generación de Unidades Homogéneas

Se genera una nueva variable combinando cada grupo de cobertura con su grupo geomorfológico asociado, dando lugar a las nuevas “unidades homogéneas de paisaje” (ej.: “Vegetación secundaría en Planicie aluvial”, “Bosque en Colinas”). Esta simplificación reduce el número de clases a un conjunto compacto de alto significado ecológico y territorial y permite la cuantificación y visualización directa de frecuencias y dominancias espaciales.

- Validación y Análisis

El listado de combinaciones resultante se revisa para asegurar que los grupos responden a criterios ecológicos, paisajísticos y de gestión territorial relevantes. La frecuencia de cada unidad homogénea ofrece insumo para priorización y análisis espacial más eficiente en procesos de análisis.

Obteniendo entonces un mapa de las unidades de paisaje a escala 1:10.000, y la descripción de las características que conforman las unidades de paisaje, así como, la identificación del porcentaje de ocupación con respecto al área de influencia del componente, así como la proporción de cada unidad que será afectada por el proyecto, obra o actividad.

2.3.3.3.2 Percepción del paisaje

Para este ítem se contempla el análisis de visibilidad el cual se describe a continuación:

A. Análisis de visibilidad

La visibilidad se define como el espacio entre el paisaje y el observador o zona de visión física entre observador y paisaje o territorio que puede apreciarse desde un punto o zona determinada. Se analiza teniendo en cuenta factores como la hora del día (brillo solar) y posición espacial del observador.

La definición de la visibilidad del paisaje para el área de influencia se determinó con observadores seleccionados de acuerdo con el análisis de cuencas visuales de la herramienta de la ANLA, en zonas de alta y moderada categoría que arrojó el programa y que presentaran un flujo de personas continuo, corroborando estos puntos en campo, con el fin de hacer un análisis integrado o combinado entre los resultados reportados por un software y la validación en campo. La digitalización de los puntos de observación se realizó empleando el software ArcMap correspondiente a la plataforma ArcGIS, herramienta que permite realizar análisis de visibilidad a través de la extensión Spatial Analyst y la Orden Visibility del software, determinando así las zonas visibles para cada uno de los observadores, teniendo como insumo principal el Modelo de Elevación Digital (DEM) empleado para el proyecto, lo que permitió establecer la cuenca visual que posee cada observador.

2.3.3.3.3 Atributos del paisaje

Entre otros atributos que se contemplan en el análisis de la percepción del paisaje en línea con los Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018) y los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de

explotación minera TdR-13 (ANLA, Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera., 2016), así como con el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos de la ANLA, vigente mediante la Resolución 2182 de 2016, se incluyen las metodologías de: Calidad visual, Fragilidad visual, Discordancia y tamaño de la discordancia, Correspondencia Cromática, Integridad escénica, Escala visual y Nivel de interés. Estos se describen a continuación:

A. Calidad visual

La determinación de la calidad visual del paisaje se realizó siguiendo lo propuesto en el estudio de impacto ambiental de 2015 y la modificación de licencia ambiental de 2018 del proyecto Gramalote, tal como se describe a continuación.

"La calidad visual de paisaje se evalúo a partir de la metodología planteada por Aguiló et al. (1992), y modificada de acuerdo con las condiciones de la zona. Se seleccionaron las variables de relieve, vegetación, fauna, presencia de agua, y grado de antropización." A continuación, en la Tabla 2.24, Tabla 2.25, Tabla 2.26, Tabla 2.27 y Tabla 2.28, se presentan las variables seleccionadas y los respectivos rangos de calificación de acuerdo con cada uno de los parámetros evaluados.

Tabla 2.24 Valoración del relieve

Descripción de la valoración	Valor	Calificación
No se observan detalles singulares y la pendiente del terreno es menor al 7%.	1	Muy baja
Colinas bajas a medias, fondos de valles planos y se observan pocos detalles singulares. La pendiente del terreno está entre 7 – 12%.	3	Baja
Presencia de formas erosivas o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de detalles interesantes. Pendiente entre 12 – 25%.	5	Media
Relieve de gran variedad superficial, con presencia de rasgos singulares. Pendiente entre 25 – 50%.	7	Alta
Relieve muy montañoso, marcado y prominente; con rasgos singulares y dominantes. Pendiente del terreno mayor a 50%.	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

Tabla 2.25 Valoración de la presencia del agua

Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Ausencia de drenajes	1	Muy baja
Arroyos intermitentes o inapreciables	3	Baja
Presencia de drenajes o agua en reposo de forma permanente, aunque no domina el paisaje	5	Media
Presencia de drenajes o agua en reposo con algunos cambios en el cauce (Cascadas)	7	Alta
Presencia de drenajes o agua en reposo con numerosos e inusuales cambios en el cauce (rápidos, pozas, meandros o gran caudal)	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

Tabla 2.26 Valoración de la cobertura terrestre

Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Ausencia de vegetación en el suelo por lo que no ofrece contraste o variedad.	1	Muy baja
Presencia de vegetación de porte bajo a medio, con poca variedad de contraste visual (muy homogéneo visualmente).	3	Baja

Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Presencia de vegetación de porte bajo a medio, con un contraste y variedad media.	5	Media
Presencia de vegetación de porte medio a alto, que ofrece un contraste y variedad visual alta (cobertura heterogénea).	7	Alta
Presencia de vegetación de porte alto con un contraste y variedad visual muy alto (Cobertura con mayor heterogeneidad).	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

Tabla 2.27 Valoración de la fauna

Descripción de la Valoración	Valor	Calificación
Ausencia de especies de fauna.	1	Muy baja
Sitios con presencia esporádica de especies generalistas.	3	Baja
Sitios con presencia permanente de especies comunes, pero con baja diversidad.	5	Media
Sitios con presencia esporádica de especies, las cuales presentan un grado de amenaza o que tienen algún carácter paisajístico en la zona.	7	Alta
Sitios con alta riqueza de especies y presencia permanente de éstas. Sitios alta riqueza de especies y con presencia permanente de éstas, las cuales presentan un grado de amenaza o que son de interés paisajístico en la zona.	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

Tabla 2.28 Valoración de la actividad antrópica

Descripción de la Valoración	Valor	Calificación
Actividad que modifica de manera intensa el suelo y anula la calidad escénica.	1	Muy baja
Modificaciones muy intensas y de extensión variable que disminuyen calidad escénica.	3	Baja
Modificaciones poco armoniosas de intensidad moderada, conformando una calidad escénica media.	5	Media
Modificaciones de baja intensidad y extensión variable que afectan la calidad escénica de forma baja.	7	Alta
Modificaciones poco perceptibles y prácticamente libre de actuaciones estéticamente no deseadas que favorecen la calidad visual y escénica.	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

A partir del Software ArcGIS 10.8 se realiza un análisis espacial mediante la superposición de las variables a través del algebra de mapas en donde se suman todas las capas, con el fin de crear un mapa en el cual se refleja el resultado de la calidad visual del paisaje.

A continuación, en la Tabla 2.29 se presentan los rangos para la calificación de la calidad visual.

Tabla 2.29 Valoración de la calidad visual

Descripción de la Valoración	Rango	Valor	Calificación
Áreas que no reúnen características y/o rasgos importantes a nivel paisajístico (áreas homogéneas)	≤8	1	Muy baja
Áreas con rasgos y/o características comunes en el área considerada (áreas con muy poca variedad)	8– 16	3	Baja
Áreas principalmente con rasgos y/o características comunes y pocas características excepcionales	16– 24	5	Media

Descripción de la Valoración	Rango	Valor	Calificación
Áreas con una mezcla de características excepcionales en algunos aspectos y comunes para otros	24– 32	7	Alta
Áreas con rasgos y/o características excepcionales en la mayoría de los aspectos considerados	≥32	9	Muy alta

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

B. Fragilidad visual

La determinación de la fragilidad visual del paisaje se realizó siguiendo lo propuesto en el estudio de impacto ambiental de 2015 y la modificación de licencia ambiental de 2018 del proyecto Gramalote, tal como se describe a continuación. "*La fragilidad visual del paisaje entendida como el conjunto de características del territorio que inciden en la capacidad de respuesta de éste al cambio en sus propiedades paisajísticas. La metodología empleada se adaptó a la propuesta por Aguiló et al. (1992),* y se presenta a continuación en la Tabla 2.30.

Tabla 2.30 Valoración de fragilidad del paisaje

Factores	Elementos	Fragilidad		
		Alta	Media	Baja
Biofísicos	Pendientes (P)	Pendientes de más de 30%, terrenos con un dominio del plano vertical de visualización. Valor = 30	Pendientes entre 15 y 30%, y terrenos con modelado suave u ondulado. Valor = 20	Pendientes entre 0 y 15%, plano horizontal de dominancia. Valor = 10
	Densidad Vegetación (D)	Grandes espacios sin vegetación o agrupaciones aisladas. Dominancia del estrato herbáceo. Valor = 30	Cubierta vegetal discontinua. Dominancia del estrato arbustivo. Valor = 20	Grandes masas boscosas. 100% de cobertura. Valor = 10
	Contraste de Vegetación (C)	Vegetación monoespecífica o ausencia de vegetación Contraste poco evidente. Valor = 30	Mediana diversidad de especies, con contrastes evidentes, pero no sobresalientes. Valor = 20	Alta diversidad de especies, fuertes e interesantes contrastes. Valor = 10
Visualización	Tamaño de la Cuenca visual (T)	Visión de carácter cercana o próxima (0 a 500 m). Dominio de los primeros planos. Valor = 30	Visión media (500 a 2.000 m), dominio de los planos medios de visualización. Valor = 20	Visión de carácter lejano o a zonas distantes (>2.000 m) Valor = 10
	Compacidad (O)	Vistas panorámicas abiertas. El paisaje no presenta huecos, ni elementos que obstruyan los rayos visuales. Valor = 30	El paisaje presenta zonas de menor incidencia visual, pero en un porcentaje moderado. Valor = 20	Vistas cerradas u obstaculizadas. Presencia constante de zonas de sombra o menor incidencia visual. Valor = 10

Factores	Elementos	Fragilidad		
		Alta	Media	Baja
Visibilidad	Accesibilidad Visual (A)	Percepción visual alta, visible a distancia y sin mayor restricción. Valor = 30	Visibilidad media, ocasional, combinación de ambos niveles. Valor = 20	Baja accesibilidad visual, vistas escasas o breves. Valor = 10

Fuente: Adaptado de Aguiló *et al.*, 1992

El resultado de la fragilidad visual se obtiene de la ponderación de todos los elementos analizados, de tal manera que, al obtenerse los valores mínimos y máximos de estas ponderaciones, se genera un rango de fragilidad visual que varía entre muy baja, baja, media y alta, tal como se presenta en la Tabla 2.31.

Tabla 2.31 Rangos de calificación de la fragilidad visual

Rango cualitativo fragilidad	Rango	
	Mínimo	Máximo
Muy alto	170	180
Alto	140	160
Medio	110	130
Bajo	80	100
Muy bajo	60	70

Fuente: Integral S.A., 2025

C. Discordancia y tamaño de la discordancia

Teniendo en cuenta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018) y los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de explotación minera TdR-13 (ANLA, Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera., 2016), así como con el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos de la ANLA, vigente mediante la Resolución 2182 de 2016, para el análisis de los elementos discordantes del paisaje se realizó la identificación por cada unidad de paisaje y el tamaño de estos elementos, teniendo en cuenta los rangos que se indican en la Tabla 2.32, respecto al tamaño se tomó en cuenta el área discordante con respecto a la unidad de paisaje. Es de anotar que, entre mayor es el número de elementos discordantes y el tamaño del área discordante, mayor es el grado de afectación sobre la integridad escénica.

Tabla 2.32 Clasificación de elementos discordantes

Parámetro	Rango			
	Alto	Medio	Bajo	Nulo
Elementos	> 3 elementos	2 elementos	1 elemento	0 elementos

Fuente: Adaptado de datos geográficos de la ANLA, Integral S.A., 2025

En cuanto al tamaño de la discordancia, este se entiende como la distancia en la que se percibe la diferencia; se realiza con base en los elementos discordantes que se encontraron en las respectivas Unidad de Paisaje y su incidencia en la calidad visual e integridad escénica; así como lo indica el modelo de datos de ANLA, entre mayor sea el tamaño de la(s) discordancia(s) mayor será el grado de afectación sobre la integridad escénica de la unidad en evaluación, ante esto se tiene que en caso de que los elementos representen más del 30% de la unidad del paisaje el tamaño de la discordancia se clasifica como

categoría alta. En tal sentido, en la Tabla 2.33 se presenta el indicador de discordancia, de acuerdo con el tamaño de esta.

Tabla 2.33 Tamaño de la discordancia

Indicador de Discordancia	Tamaño de Discordancia
Alto	Más del 30% del área de la unidad de paisaje local presenta discordancia.
Medio	Entre el 15 al 29% del área de la unidad de paisaje local presenta discordancia.
Bajo	Menos del 14% del área de la unidad de paisaje local presenta discordancia.
Nulo	No se presenta discordancia en la unidad de paisaje local.

Fuente: adaptado de datos geográficos de la ANLA, Integral S.A., 2025

D. Correspondencia cromática e integridad escénica

De acuerdo con lo indicado en el modelo de datos de ANLA, para la correspondencia cromática el indicador de este ítem corresponde a que, entre mayor correspondencia cromática de los elementos discordantes con el carácter del paisaje, menor incidencia sobre el mismo y por consiguiente sobre su integridad escénica, en contraste, a menor correspondencia cromática de los elementos discordantes con el carácter del paisaje, mayor afectación de la integridad escénica. Y este se cataloga como se presenta en la Tabla 2.34.

Tabla 2.34 Categoría de correspondencia cromática

Categoría	Descripción
Alto	Alta correspondencia cromática, los colores de los elementos discordantes son muy similares a los del paisaje, causando mínima incidencia visual.
Medio	Correspondencia cromática moderada, hay diferencias notables, pero aún cierta armonía cromática con el paisaje, generando una afectación visual moderada.
Bajo	Baja correspondencia cromática, los colores difieren significativamente del paisaje, produciendo un alto impacto visual negativo y afectación a la integridad escénica.
Nulo	No hay elementos discordantes

Fuente: Adaptado por Integral S.A., 2025 del modelo de almacenamiento de datos geográficos de la ANLA

Por su parte, la integridad escénica, existe una correspondencia directa entre el grado de afectación y la armonía cromática de los elementos discordantes con el paisaje: una baja integridad escénica implica una menor correspondencia cromática, mientras que una alta integridad escénica refleja una mayor armonía visual. De acuerdo con lo indicado en el modelo de datos de ANLA en la Tabla 2.35 se presentan las categorías para la integridad escénica.

Tabla 2.35 Categoría de integridad escénica

Categoría	Descripción
Muy Baja	Paisaje muy alterado, con elementos discordantes que presentan una muy baja correspondencia cromática, generando fuerte afectación y pérdida total de armonía visual.
Bajo	Paisaje moderadamente alterado, con elementos discordantes visibles que tienen baja correspondencia cromática, afectando notablemente la integridad escénica.
Moderado	Paisaje levemente alterado, donde algunos elementos discordantes muestran correspondencia cromática media, conservando moderadamente la armonía visual.
Alta	Paisaje que parece inalterado, con elementos discordantes que mantienen alta correspondencia cromática, con mínima afectación visual.
Muy Alta	Paisaje inalterado, sin presencia de elementos discordantes o con correspondencia cromática muy alta, preservando totalmente la integridad escénica y armonía del paisaje.

Fuente: Adaptado por Integral S.A., 2025 del modelo de almacenamiento de datos geográficos de la ANLA

E. Escala visual

La escala visual es un concepto clave en el análisis del paisaje y se refiere a la dimensión perceptiva o alcance visual con el que una persona experimenta un paisaje desde un punto de observación determinado. Está relacionada con la distancia, profundidad, tamaño relativo de los elementos, y nivel de detalle visible. Para ello, se establece los rangos que se presentan en la siguiente tabla, señalados por Morlans[4]:

Tabla 2.36 Escala visual

Categoría de Escala Visual	Rango Ajustado (metros)
Primer plano o Corta	Escala visual hasta una distancia de 0 a 1 Km, donde el observador tiene una participación directa y percibe todos los detalles inmediatos.
Plano intermedio o Media	Escala visual hasta una distancia de 1 a 3 Km., donde las individualidades del área se agrupan para dotarla de carácter. Es la zona donde los impactos visuales producidos por las actuaciones son mayores.
Plano lejano o larga	Escala visual hasta una distancia de 3 a 10 Km, Se pasa del detalle a la silueta. Los colores se debilitan y las texturas son casi irreconocibles.

Fuente: Morláns, M., 2005

F. Nivel de Interés

En cuanto al nivel de interés, este corresponde al interés respecto a la visibilidad del paisaje, se establecen nueve categorías como se muestra en la Tabla 2.37. Para ello, se adopta los datos de escala y la calidad visuales, el cual determina el nivel de interés, considerando la información de las encuestas realizadas a la comunidad.

[4] MORLÁNS, M. El paisaje percibido o paisaje visual II. Catamarca/Argentina: Universidad Nacional de Catamarca, 2005, 17 p.

Tabla 2.37 Categoría de nivel de interés

Escala Visual	Calidad Visual	Nivel de Interés
Vista en primer plano	Alto	Vista en primer plano con interés alto
Vista en primer plano	Medio	Vista en primer plano con interés medio
Vista en primer plano	Bajo	Vista en primer plano con interés bajo
Vista intermedia	Alto	Vista intermedia con interés alto
Vista intermedia	Medio	Vista intermedia con interés medio
Vista intermedia	Bajo	Vista intermedia con interés bajo
Vista lejana	Alto	Vista lejana con interés alto
Vista lejana	Medio	Vista lejana con interés medio
Vista lejana	Bajo	Vista lejana con interés bajo

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.3.3.4 Sitios de interés paisajísticos

Los sitios de interés paisajístico comprenden en su mayoría aquellos seleccionados en el Estudio de Impacto Ambiental de 2015 y la modificación de licencia ambiental de 2018 del proyecto Gramalote, teniendo en cuenta la ubicación de estos dentro del área de influencia del componente paisaje.

Es de mencionar que, dichos sitios fueron seleccionados de acuerdo con la información suministrada en encuestas y/o fichas veredales, así como, por medio de consulta al área de asuntos turísticos del municipio de San Roque.

Así mismo, en línea con el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos de la ANLA, vigente mediante la Resolución 2182 de 2016, se realiza la identificación del atractivo escénico para los sitios de interés paisajísticos, el cual se describe a continuación.

A. Atractivo escénico

En cuanto a la calificación del atractivo escénico, en este se midió la importancia escénica del paisaje, con base en la percepción humana y de acuerdo con los criterios expuestos en la Tabla 2.38. Es de señalar que, un principio clave de esta evaluación es que todas las tierras públicas tienen valor escénico, pero las áreas con mayor variedad y con la composición más armoniosa tienen el mayor valor escénico.

Tabla 2.38 Criterios de evaluación para la determinación del atractivo escénico del paisaje

Factor	Elemento de Influencia		
Forma del terreno	Gran relieve vertical, con presencia de acantilados prominentes, agujas, espolones rocosos o gran variación superficial (erosión severa, glaciares, dunas). Valor = 5	Cañones, mesetas, conos volcánicos o formas con variedad moderada, interesantes, pero no dominantes. Valor =3	Colinas suaves, llanuras, fondos de valle planos, sin rasgos paisajísticos relevantes. Valor = 1

Factor	Elemento de Influencia		
Vegetación	Alta variedad de tipos vegetales con formas, texturas y patrones interesantes. Valor = 5	Algo de variedad, pero solo uno o dos tipos dominantes. Valor = 3	Muy poca o nula vegetación o contraste Valor = 1
Accesibilidad	Percepción visual alta, visible a distancia y sin mayor restricción Valor = 5	Visibilidad media, ocasional, combinación de ambos niveles Valor = 3	Baja accesibilidad visual, visitas repentinas, escasas o breves. Valor = 1
Agua	Agua clara y dominante en el paisaje (ríos, cascadas, lagos). Valor = 5	Agua presente pero no dominante. Valor = 3	Ausente o no visible. Valor = 0
Color	Riqueza de combinaciones cromáticas, colores vivos o contrastes visuales agradables. Valor = 5	Alguna variedad o contraste, pero no dominante. Valor = 3	Tonos apagados, sin contraste o interés. Valor = 1
Influencia del paisaje adyacente	El paisaje circundante realza mucho la calidad visual. Valor = 5	Mejora moderadamente la calidad visual general. Valor = 3	No influye o influye muy poco. Valor = 0
Escasez (Scarcity)	Paisaje único, muy memorable o extremadamente raro en la región. Posibilidades excepcionales de avistamiento de fauna o flora. Valor = 5	Distintivo, aunque similar a otros en la región. Valor = 3	Atractivo, pero común dentro del contexto regional. Valor = 1
Modificaciones culturales	Las modificaciones antrópicas (construcciones, caminos, estructuras) aportan valor visual y armonía. Valor = 2	No agregan ni restan valor visual. Valor = 0	Agregan variedad, pero son visualmente discordantes, generan fuerte disarmonía. Valor = -4

Fuente: Tomado del Manual H-8410-1 Visual Resousce Inventory, de BLM (Boreau of Land Management Visual Resources)

Posteriormente, se realiza la clasificación del atractivo escénico como se muestra en la Tabla 2.39.

Tabla 2.39 Valoración para el atractivo escénico

Clasificación	Valor	Categoría
Clase A	> 19	Alto
Clase B	12 - 18	Medio
Clase C	< 11	Bajo

Fuente: Tomado del Manual H-8410-1 Visual Resousce Inventory, de BLM (Boreau of Land Management Visual Resources)

De la clasificación anterior se extrae para dar continuidad al modelo de almacenamiento de datos las categorías de singularidad, común o típico e indistinto, como se presenta en la Tabla 2.40.

Tabla 2.40 Valoración final para el atractivo escénico del paisaje

Atractivo Escénico	Valor	Descripción
Clase A - Distinto (Singular)	> 19	Calidad escénica única, inusual, extraordinaria. Presenta fuertes atributos positivos
Clase B – Típico (Común o típico)	12 - 18	Calidad escénica común y ordinaria. Presenta atributos positivos pero comunes.
Clase C – Indistinto (Deteriorado)	< 11	Baja calidad escénica. Atributos débiles o desaparecidos.

Fuente: Tomado del Manual H-8410-1 Visual Resousce Inventory, de BLM (Boreau of Land Management Visual Resources)

2.3.3.3.5 Interacción del proyecto con el paisaje

Comprende el análisis de las características de las obras (vías, obras de desviación de cauce, plataformas y depósitos) objeto de modificación de licencia del proyecto Gramalote para explicar su incidencia sobre el paisaje actual. Considerando para ello, el Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental (ANLA, 2023). En el que se señala que para proyectos mineros: *"Para todos proyectos mineros a cielo abierto se deberá tener en consideración que dado el constante cambio en la morfología del terreno que produce el avance de las obras, es necesario incorporar MDT's con información simulada (en escenario prospectivo) o actualizada (en escenarios retrospectivos)".* En ese sentido, para el desarrollo de este numeral se emplea el modelo de elevación incorporando el proyecto final con las obras de la presente modificación y los observadores identificados para el proyecto para generar dicho análisis.

2.3.3.3.6 Percepción de la comunidad

Para determinar la percepción de las comunidades respecto al paisaje que los rodea, se utilizó información del proyecto Gramalote, específicamente sobre agrado y valoración del paisaje del Estudio de Impacto Ambiental de 2015 y valoración del paisaje de la modificación de licencia ambiental de 2018. Igualmente se realizaron encuestas durante los procesos de socialización, para comprobar si la comunidad mantiene los mismos conceptos.

El número de encuestas a realizar se determinó mediante una fórmula estadística diseñada para calcular el tamaño de muestra. Este procedimiento permite establecer la cantidad mínima de encuestas necesarias para que los resultados del estudio sean considerados

válidos y representativos de la población objetivo. A continuación, se presenta la fórmula aplicada:

$$n = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra (proporción poblacional)

N: Tamaño poblacional

z: 1,645; asumiendo distribución normal. Corresponde a un nivel de confianza del 90%

p: Proporción 0,1 máximo el tamaño muestral

e: margen de error

En ese orden de ideas, el tamaño de la población representa la cantidad total de personas en el grupo que se desea estudiar; el margen de error es un porcentaje que muestra con qué precisión los resultados de una encuesta reflejan las opiniones de toda la población. Cuanto menor sea el margen de error, más precisa será la respuesta en un nivel de confianza determinado; por su parte el nivel de confianza mide qué tanta confianza se puede tener en que la población elegirá una respuesta dentro de un rango determinado y la desviación estándar mide qué tan separados están los datos del promedio o la media. El presente estudio se realizó bajo un nivel de confianza del 90% con un porcentaje de error de 10%. En la Tabla 2.41 se ilustra las encuestas requeridas para el presente estudio.

Tabla 2.41 Encuestas requeridas para el área de estudio por unidad territorial

Unidad territorial	Total población	Porcentaje (%)	Nivel Confianza 90%	Ajustado
Centro poblado del Cgto. Providencia	2751	48%	32	32
Centro poblado del Cgto. Cristales	564	10%	7	7
El Diluvio	518	9%	6	6
El Iris	131	2%	2	2
Guacas Abajo	91	2%	1	1
Guacas Arriba	117	2%	1	1
La Bella	73	1%	1	1
La Linda	15	0%	0	1
La María	263	5%	3	3
La Trinidad	284	5%	3	3
Manizales	121	2%	1	1
Peñas Azules	216	4%	2	3
San Joaquín	230	4%	3	3

Unidad territorial	Total población	Porcentaje (%)	Nivel Confianza 90%	Ajustado
Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	110	2%	1	1
Villanueva	277	5%	3	3
Guacharacas	21	0%	0	1
La Chinca	52	0%	0	0
Total	5782	100%	67	69

Fuente: Integral S.A., 2025

El formato de encuesta consta de cinco secciones con aproximadamente 30 preguntas, diseñadas para generar datos cualitativos y cuantitativos que sustentan una metodología participativa en el análisis de impacto paisajístico, incorporando la percepción local.

La encuesta inicia con una introducción contextual que explica el objetivo (percepción comunitaria para modificación de licencia ambiental del proyecto Gramalote) y define el paisaje mediante sus cinco componentes (relieve, vegetación, hidrología, usos del suelo, fauna), solicitando datos generales del encuestado (nombre opcional, vereda/corregimiento/barrio).

Sección 1 - Valor del paisaje evalúa su importancia para la comunidad mediante calificación general (agradable/indiferente/desagradable), presencia de componentes específicos (bosque/pastos/quebradas/etc.), elementos representativos (montañas, ríos, fauna) y preferencias de conservación, identificando percepciones y valores sensibles.

Sección 2 - Relación cultural indaga la conexión paisaje-tradiciones locales y sitios de valor sagrado/histórico/turístico (miradores, balnearios, encuentros interculturales), mapeando elementos patrimoniales intangibles.

Sección 3 - Cambios temporales registra transformaciones de los últimos 10 años (deforestación, urbanización, pérdida de fauna, contaminación hídrica) y sus efectos en la calidad de vida, estableciendo línea base histórica.

Sección 4 - Percepción del proyecto mide conocimiento sobre Gramalote, cambios previstos (polvo, excavación, contaminación visual) y nivel de preocupación por impactos específicos (terreno, vegetación, ruido, vibraciones, fauna), cuantificando riesgos visuales percibidos.

Y la **Sección 5 - Aportes comunitarios** recoge sugerencias abiertas de protección paisajística y comentarios adicionales, fomentando participación propositiva.

En el ANEXOS_CARACTERIZACION_PAISAJE_FT_Encu_Paisaje se encuentra el formato de las encuestas de paisaje realizadas.

2.3.3.3.7 Zonificación de la percepción del paisaje

A partir de la identificación de la percepción de las comunidades sobre el paisaje que se encuentra en su entorno, con la información recolectada, se establecen los niveles de sensibilidad de acuerdo con la calificación dada por la comunidad en las encuestas realizadas.

Para ello, se incorporó la escala de tres rangos considerando la metodología general para la presentación de estudios ambientales 2018 y los términos de referencia TdR-13, en el

que se señala que para el componente de percepción del paisaje se debe elaborar una zonificación del valor paisajístico del área de influencia (alto, medio, bajo), que sirva de insumo de la zonificación ambiental.

Para el desarrollo de la zonificación de la percepción del paisaje, se parte de un enfoque cualitativo, expresado mediante encuestas comunitarias, y un enfoque cuantitativo, mediante el cálculo de índices y especialización con la herramienta SIG (calidad visual, fragilidad, integridad escénica y escala visual).

Para ello se identifican las siguientes variables para el análisis de sensibilidad ambiental:

- Calidad Visual: hace referencia a la belleza escénica, y es dónde realiza la valoración estética y perceptual de un entorno natural o construido, considerando elementos como la vegetación, el relieve y la presencia de agua, para ello se considera lo expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 2.42 Criterio de Calidad visual para zonificación de la percepción del paisaje

Descripción	Sensibilidad Ambiental	
Unidades altamente transformadas por urbanización densa o antropía extrema, con ausencia de elementos naturales clave, generando monotonía visual y mínima sensibilidad perceptual.	Muy baja	1
Dominadas por alteraciones antrópicas intensas, cobertura escasa/degradada, agua limitada y fauna reducida, resultando en paisajes simplificados y discordantes. Baja integridad escénica, mayor capacidad de absorción visual para intervenciones	Baja	2
Equilibrio moderado con relieve/colinas estables, agua variable y cobertura mixta agropecuaria/urbana dispersa, pero con antropía presente que reduce armonía sin degradar severamente. Calidad visual aceptable	Media	3
Presentan equilibrio fuerte en elementos biofísicos como agua abundante, vegetación secundaria/bosques y fauna moderada, con relieve y antropía controlados, ofreciendo calidad visual dinámica y restaurable. Muestran potencial escénico alto	Alta	4
Unidades con puntuación ponderada máxima exhiben relieve variado, presencia constante de agua, cobertura boscosa densa, fauna diversa y mínima antropía, generando paisajes armónicos y complejos con alto atractivo visual y fragilidad. Estos sitios destacan por su integridad natural intacta, visibilidad panorámica y valor ecológico-estético elevado	Muy alta	5

Fuente: Integral S.A., 2026

- Fragilidad Visual: (Vulnerabilidad visual) es la susceptibilidad del paisaje a cambios visibles cuando se introducen nuevos elementos. Para ello se considera lo expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 2.43 Criterio de fragilidad visual para zonificación de la percepción del paisaje

Descripción	Sensibilidad Ambiental	
Unidades con pendientes pronunciadas, vegetación escasa/densa contrastante, cuencas amplias y alta accesibilidad visual exhiben fragilidad elevada, donde intervenciones generan impactos notorios en la percepción paisajística.	Alto	>4
Equilibrio en atributos visuales con pendientes moderadas, vegetación mixta y compacidad variable, mostrando fragilidad intermedia susceptible a mitigación.	Medio	3
Caracterizadas por pendientes suaves, vegetación densa uniforme (bajo contraste), cuencas compactas y baja accesibilidad, ofreciendo alta capacidad de absorción visual	Bajo	≤2

Fuente: Integral S.A., 2026

- Integridad Escénica: corresponde a la armonía del paisaje, y se emplea como una variable de sensibilidad dado que expresa el grado de conservación, coherencia y continuidad visual de los elementos naturales y antrópicos que conforman un paisaje, tal como es percibido por la comunidad. Evalúa la presencia de alteraciones visuales (fragmentación, intrusión, discordancia formal o cromática) y su impacto sobre la calidad estética, el sentido de identidad y el valor simbólico del paisaje.

Tabla 2.44 Criterio para integridad escénica para zonificación de la percepción del paisaje

Descripción	Categoría	Calificación
Estas unidades se caracterizan porque las modificaciones han eliminado significativamente los atributos del paisaje, generando contrastes visuales poco relevantes, dando como resultado unidades de paisaje altamente transformadas.	Muy baja	1
Estas transformaciones son evidentes también en otros atributos diferentes a los que se estaban valorando en el carácter moderado, tales como tamaño, forma efecto de borde, el patrón de aberturas naturales, cambios de tipo vegetativo o estilos arquitectónicos.	Baja	2
Se caracterizan por presentar un paisaje ligeramente modificado. Los cambios notables permanecen visualmente subordinadas al carácter del paisaje que se está observando, es decir, que las alteraciones en la forma, la línea, el color, la textura y en los patrones comunes al paisaje se hacen evidentes, pero no son dominantes en la totalidad del paisaje	Moderada	3
Parece inalterado: se refiere a paisajes en los que el carácter del paisaje valorado aparece intacto. Pueden existir alteraciones en la forma, la línea, el color, la textura y en los patrones comunes al paisaje, pero en esta escala estas alteraciones no son evidentes	Alta	4
Inalterado: la unidad de paisaje aparece intacto, con alteraciones mínimas	Muy Alta	5

Fuente: Integral S.A., 2026

- Escala visual: es una variable de sensibilidad que hace referencia a la relación perceptual entre la dimensión, proporción y magnitud de los elementos del paisaje (naturales y antrópicos) y la capacidad de observación del ser humano. Evalúa cómo el tamaño, la altura, el volumen y la extensión espacial de dichos elementos influyen en la percepción de amplitud, dominancia o saturación visual del paisaje por parte de la comunidad. Paisajes donde los elementos se perciben desproporcionados o dominantes frente al entorno presentan mayor sensibilidad visual ante nuevas intervenciones, mientras que aquellos con escalas amplias o equilibradas muestran mayor capacidad de absorción visual.

Tabla 2.45 Criterio de Escala Visual para zonificación de la percepción del paisaje

Descripción	Categoría	Calificación
Escala visual hasta una distancia de 0 a 1 Km, donde el observador tiene una participación directa y percibe todos los detalles inmediatos.	Alto	3
Escala visual hasta una distancia de 1 a 3 Km., donde las individualidades del área se agrupan para dotarla de carácter. Es la zona donde los impactos visuales producidos por las actuaciones son mayores.	Medio	2
Escala visual hasta una distancia de 3 a 10 Km, Se pasa del detalle a la silueta. Los colores se debilitan y las texturas son casi irreconocibles.	Bajo	1

Fuente: Integral S.A., 2026

Con la finalidad de incorporar la percepción de la comunidad a las variables empleadas para la zonificación de la percepción del paisaje, se realizan una ponderación a cada valor considerando la información levantada en las encuestas realizadas a la comunidad, para lo cual se procede a cada variable integrarle el valor ponderado obteniendo la siguiente formula:

$$\textit{Índice Valor Paisajístico} = (\textit{Cuenca Visual} \times 0{,}40) + (\textit{Fragilidad Visual} \times 0{,}25) + (\textit{Integridad Escénica} \times 0{,}20) + (\textit{Escala Visual} \times 0{,}15)$$

Los resultados se clasifican en Alto, Medio y Bajo, y se presentan en la siguiente Tabla 2.46, obteniendo la zonificación final.

Tabla 2.46 Clasificación de la zonificación de la percepción del paisaje

Categoría	Rango	Descripción
Alto	Mayor o igual a 3.3	Las unidades de paisaje de categoría ALTA representan los ecosistemas más valiosos y preservados del área de estudio. Están constituidas predominantemente por bosques nativos o secundarios bien desarrollados, con presencia constante de agua (ríos, quebradas, manantiales) y fauna visible (aves, mamíferos). Su relieve es complejo y variado, generando paisajes visualmente dinámicos y armónicos.
Medio	2.9 a 3.2	La categoría MEDIA agrupa unidades de paisaje con atributos visuales y ecológicos equilibrados, que presentan mezcla de elementos naturales y antrópicos en proporción moderada. Son paisajes mayormente funcionales con vulnerabilidad visual moderada que requieren manejo de mitigación visual y restauración selectiva para mantener calidad
Bajo	menor a 2.8	La categoría BAJA agrupa unidades de paisaje con atributos visuales degradados, mínima presencia de naturaleza, o integridad ecológica pérdida por daño reciente. Son paisajes fuertemente antropizados o dañados que presentan baja calidad visual o vulnerabilidad extrema con mínima capacidad de absorción. Requieren restauración prioritaria o monitoreo cercano

Fuente: Integral S.A., 2026

2.3.3.4 Metodología caracterización componente suelos y uso de la tierra

La elaboración del capítulo de suelos y uso de la tierra partió de la información presentada en el “Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote” 2015; esta se realizó con base en los términos de referencia para la caracterización de la línea base y la Metodología para la presentación de Estudios Ambientales (MADS, 2018) y las Normas Técnicas Colombianas para muestreo de suelos (NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 4113-3, NTC 4113-4 e ISO 10381-5), en la cual se definieron las características, límites y metodologías para el estudio de suelos.

El estudio del suelo presentado en el 2015 tuvo como objetivo caracterizar en detalle a escala de 1:10.000 en el área de influencia del componente suelo, los aspectos que incluyó esta caracterización son los siguientes:

- Elaboración del mapeo de suelos a nivel de detalle 1:10.000.
- Determinación de las características físicas, químicas y biológicas fundamentales de cada perfil de muestreado, con el fin de diagnosticar el estado actual del suelo en el cual se incluyendo su fertilidad, nivel de contaminación, grado de compactación y procesos de degradación.
- Identificación y mapeo del uso actual del suelo.
- Identificación y mapeo de uso potencial de los suelos.

- Identificación y mapeo de los conflictos de uso del suelo encontrados en el área de influencia del componente suelo y usos de la tierra.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente Complemento del Estudio Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental tuvo en cuenta las mismas unidades cartográficas presentadas en el EIA del año 2015 del proyecto que se encuentran a escala 1:10.000 toda vez que esta se encuentra dentro de los lineamientos y requisitos de la Metodología para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MADS, 2018) y las normas técnicas colombianas para muestreos de suelos (NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 4113-3, NTC 4113-4); para lo cual se trae a colación lo expuesto en dicho estudio en: "*Las unidades cartográficas corresponden principalmente a la asociación, consociación y en algunas ocasiones al complejo de suelo, descritas con base en IGAC, 2010. Para la delimitación de estas unidades, se definieron las fases de suelos, que son subdivisión de una unidad cartográfica según las propiedades físicas. Estas unidades definen el uso y manejo de los suelos y fijan su uso potencial. Se tuvo en cuenta criterios de pendiente, erosión, inundaciones, pedregosidad y/o rocosidad y profundidad. Los criterios de fases utilizados fueron previamente descritos en el EIA del Proyecto (Pendiente, Grado de erosión, Inundaciones, Pedregosidad superficial, Rocosidad, Profundidad y Fertilidad).*"

A continuación, se describen las etapas de la metodología para el desarrollo del desarrollo del Complemento del Estudio Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental.

2.3.3.4.1 Fase previa

Esta corresponde al trabajo de oficina, en el cual se realizó la revisión y análisis de la información existente en el área de influencia de componente de suelos y uso de la tierra, como fue la cartografía base reportada por el IGAC correspondiente al "Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia" realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi–IGAC- año 2007 (escala 1:100.000), el Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del municipio de San Roque año 2022 (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022), el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote del año 2015 (GCL, 2015), así como, muestreos de suelos realizados en Gramalote en el 2022.

En el 2022 como se indicó anteriormente el proyecto Gramalote desarrollo unos muestreos corroborativos en las unidades de suelos levantas en el EIA (2015) del proyecto, para lo cual se realizó una revisión comparativa de dicha información y se identificó que las unidades de suelos presentadas en el 2015 y comparadas con las realizadas en el 2022 son equivalentes y se incorporan en el presente Complemento del Estudio Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental. (Ver ANEXOS_CARACTERIZACION_SUELOS_PERF_SUELOS_2015-2022).

En los muestreos mencionados se realizaron como actividades previas la identificación del número de puntos de muestreo, técnicas de muestreo, recorrido, así mismo, se analizó la información de la zona y del proyecto, como el esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de San Roque del 2022, la cartografía del proyecto como delimitación de áreas, polígonos, coberturas, pendientes, cuerpos de agua, curvas a nivel, entre otras. Dicha actividad se realizó teniendo en cuenta la metodología de levantamientos de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC., 2014), y aplicando las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación INCONTEC (2014).

Adicionalmente, se solicitó permiso de acceso a los dueños de los predios y coordinación de los materiales.

2.3.3.4.2 Fase campo

La fase de campo que se describe a continuación corresponde a los muestreos realizados en enero y noviembre de 2022, el primer muestreo tuvo una duración de 4 días desarrollándose del 26 al 29 de enero y segundo muestreo se realizó en 5 días del 9 al 13 de noviembre.

En ambos casos la actividad de campo estuvo comprendida por la ubicación de los puntos de muestreo, la caracterización de los tipos de suelos mediante calicatas, barrenadas y cajuelas, se tomó las muestras de suelos para análisis fisicoquímico nutricional y de contaminantes, se realizaron las descripciones de perfiles de suelos empelando el formato de estudio de suelos de la Universidad Católica de Oriente UCO.

A. Fase de campo - enero 2022

Para el muestreo de enero de 2022 se dispuso de un equipo técnico de cuatro (4) personas a cargo de la ubicación de puntos, descripción de perfiles, procesamiento de información y demás trabajo técnico, además se contó con dos guías (baqueanos), para realizar los recorridos de campo, elaboración de calicatas, toma de muestras de suelos, transporte de materiales y muestras, entre otras, todos coordinados por un ingeniero agrónomo con maestría en Geomorfología y Suelos.

En la zona de estudio, con la ayuda de dos baqueanos, apoyados en herramientas como palines, paladragas y palas, se realizaron un total de 15 calicatas o puntos principales de 50 cm de ancho y 100 cm de profundidad si el suelo lo permitía, con el fin de describir e identificar los perfiles del suelo (Fotografía 2.1 y Fotografía 2.2).



Fotografía 2.1 Perfil de suelo mediante calicata



Fotografía 2.2 Perfil del suelo mediante calicata con coordenadas

Fuente: UCO, 2022

En la Tabla 2.47 se presenta la distribución y ubicación de las calicatas en los lotes definidos por en el proyecto Gramalote.

Tabla 2.47 Coordenadas de las calicatas en Magna Sirgas Origen Nacional

Calicata	Vereda	Punto de referencia	Este	Norte	Temporalidad	ID Calicata*
Calicata 1	La Linda	El Cafetal	4.794.157,58	2.276.287,41	Enero 2022	Calicata1_ Ene2022
Calicata 2	La Linda	La Palestina	4.793.825,75	2.276.178,29	Enero 2022	Calicata2_ Ene2022
Calicata 3	El Diluvio	Deposito U-Diluvio Medio (La Palestina)	4.792.575,35	2.276.043,37	Enero 2022	Calicata3_ Ene2022
Calicata 4	El Iris	El Iris	4.791.531,33	2.276.691,34	Enero 2022	Calicata4_ Ene2022
Calicata 5	Guacas Abajo	La perla del Nus	4.786.279,77	2.279.426,63	Enero 2022	Calicata5_ Ene2022
Calicata 6	Guacas Abajo	El Banco – La Perla de Nus	4.787.934,38	2.278.944,94	Enero 2022	Calicata6_ Ene2022
Calicata 7	El Diluvio	Deposito O	4.793.244,64	2.276.971,65	Enero 2022	Calicata7_ Ene2022
Calicata 8	El Diluvio	Deposito G	4.792.398,86	2.276.785,77	Enero 2022	Calicata8_ Ene2022
Calicata 9	Guacas Abajo	La Mayoría	4789350,96	2278087,76	Enero 2022	Calicata9_ Ene2022
Calicata 10	Guacas Abajo	Deposito V	4789382,03	2278025,28	Enero 2022	Calicata10 _Ene2022
Calicata 11	Guacas Abajo	Deposito X	4.787.969,21	2.278.331,69	Enero 2022	Calicata11 _Ene2022
Calicata 12	Guacas Abajo	Desviación Guacas	4.787.632,53	2.277.469,26	Enero 2022	Calicata12 _Ene2022
Calicata 13	Guacas Abajo	Deposito W	4.787.578,66	2.277.900,88	Enero 2022	Calicata13 _Ene2022
Calicata 14	Guacas Abajo	San Antonio Lote uno	4.787.327,85	2.278.158,22	Enero 2022	Calicata14 _Ene2022
Calicata 15	Guacas Abajo	La cascada-HMV	4.787.953,60	2.277.977,40	Enero 2022	Calicata15 _Ene2022

*Corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Fuente: UCO, 2022

Adicional a los puntos principales, se realizaron 230 puntos corroborativos de manera aleatoria en el área de análisis, con lo cual, por cada calicata se ubicaron mínimamente 10 puntos descriptivos representando toda el área de cada polígono (subzona) con una distancia entre ellos de aproximadamente 100 metros lineales, empleando mini calicatas (cajuelas) o barrenadas, con los cuales se perforaba el suelo a una profundidad de hasta un metro (1m) según las limitantes del suelo y se procedía a construir el perfil del suelo donde se observaba si las características físicas de este eran similares a las de la calicata

o punto principal (Fotografía 2.3), si en algún punto las características no coincidían se procedía a realizar una nueva calicata con nuevos puntos corroborativos para descartar un posible cambio en el tipo de suelo, o por el contrario para reconfirmar el que ya se había identificado, de esta manera se le dio cumplimiento a los estudios detallados y semidetallados propuestos por la metodología para el levantamiento de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014).



Fotografía 2.3 Construcción del perfil del suelo a partir de los apiques con barreno

Fuente: UCO, 2022

El conteo final, arrojó que con puntos principales (calicatas) y puntos corroborativos, en total se logró caracterizar la zona de estudio con 245 puntos representativos con sus respectivas coordenadas, lo que logró un mayor nivel de detalle y dar cumplimiento a la escala de 1:10.000.

B. Fase de campo - noviembre 2022

Para el muestreo de noviembre de 2022, se dispuso de un equipo técnico de tres (3) personas a cargo de la ubicación de puntos, descripción de perfiles, procesamiento de información y demás trabajo técnico, además se contó con dos guías (baqueanos) aportados por el proyecto, para realizar los recorridos de campo, elaboración de calicatas, toma de muestras de suelos, transporte de materiales, muestras, entre otras, todo el proceso fue coordinado por un ingeniero agrónomo con maestría en Geomorfología y Suelos.

En el área de influencia, con la ayuda de dos baqueanos, apoyados en herramientas como palines y palas, se realizaron un total de 7 calicatas o puntos principales de 50 cm de ancho y 100 cm de profundidad si el suelo lo permitía (no siempre era posible por los lechos rocosos), con el fin de describir e identificar los perfiles del suelo (Fotografía 2.4).



Fotografía 2.4 Perfil de suelo mediante calicata con sus respectivas muestras

Fuente: UCO, 2022

En la Tabla 2.48 se presenta la distribución y ubicación de las calicatas en los lotes definidos por en el proyecto Gramalote.

Tabla 2.48 Coordenadas de las calicatas en Magna Sirgas Origen Nacional

Calicata	Vereda	Punto de referencia	Este	Norte	Temporalidad	ID Calicata*
Calicata 1	El Iris	El Iris	4.791.608,13	2.277.069,87	Noviembre 2022	Calicata1_Nov2022
Calicata 2	Guacas Abajo	El Topacio bajo	4.785.501,00	2.280.066,37	Noviembre 2022	Calicata2_Nov2022
Calicata 3	Guacas Abajo	San Antonio Lote 1	4.787.037,75	2.277.886,02	Noviembre 2022	Calicata3_Nov2022
Calicata 4	Guacas Abajo	El Topacio Alto	4.784.858,15	2.277.091,15	Noviembre 2022	Calicata4_Nov2022
Calicata 5	Guacas Abajo	El Topacio alto 2	4.785.970,75	2.277.255,80	Noviembre 2022	Calicata5_Nov2022

Calicata	Vereda	Punto de referencia	Este	Norte	Temporalidad	ID Calicata*
Calicata 6	Guacas Abajo	La Ponderosa Deposito	4.787.903,35	2.277.447,77	Noviembre 2022	Calicata6_Nov2022
Calicata 7	Guacas Abajo	La Ponderosa Montaña	4.787.811,00	2.277.492,33	Noviembre 2022	Calicata7_Nov2022

*Corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Fuente: UCO, 2022

Adicional a los siete (7) puntos principales, se realizaron 49 muestreos auxiliares o corroborativos, distribuidos de manera aleatoria en el área de influencia, por tanto a cada subzona le correspondió como mínimo 6 puntos; dichos muestreos se realizaron exhibiendo el perfil del suelo en superficie, mediante mini calicatas o cajuelas (Fotografía 2.5), donde se observaba si las características físicas del suelo eran similares a las de la calicata o punto principal, si en algún punto las características no coincidían se procedía a realizar una nueva calicata con nuevos puntos corroborativos para descartar un posible cambio en el tipo de suelo, o por el contrario para reconfirmar el que ya se había identificado, con esto, se le dio cumplimiento a los estudios detallados y semidetallados propuestos por la metodología para el levantamiento de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2014).



Fotografía 2.5 Cajuela para la realización de punto corroborativo

Fuente: UCO, 2022

Así, tanto con puntos principales (calicatas) y puntos corroborativos, en total se logró caracterizar el área de influencia con 56 puntos representativos con sus respectivas coordenadas, lo cual arrojó alto nivel de detalle y dar cumplimiento a la escala de 1:10.000.

Las calicatas registradas en enero y en noviembre de 2022, se distribuyeron representativamente en la zona y en cada una se obtuvo esta información:

- Por cada predio (subzona) se ubicó una calicata la cual fuera representativa para dicha subárea.
- Una vez elaborada la calicata se describió el perfil llenando el formato (Formato de descripción de suelos en campo) en el cual se copila la información de horizontes como espesor, colorimetría (según la tabla Munsell), granulometría, estructura, textura, presencia de fragmentos de roca, contactos líticos o paralíticos, profundidad efectiva de raíces, limitantes de profundidad, actividad macrobial, entre otras.
- En cada una de estas, se tomó muestras para análisis fisicoquímico, agentes contaminantes, y otras mediciones de campo como cilindros para densidad aparente, textura, estructura y curva de infiltración (Ver Parámetros medidos en campo). Cada punto se georreferenció por medio de un receptor (GPS).

En ambos muestreos se realizaron las actividades que se señalan a continuación:

C. Toma de muestra

Para el muestreo de suelos en campo, se aplicó la norma técnica del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 1994), NTC 3656, por la que se establecen las metodologías para la toma de muestras de suelo, por cada calicata se tomó una o dos muestras de suelos según sus horizontes, ya que si el perfil del suelo no presentaba un límite claro entre sus horizontes (difusos), no se tomaban muestras por cada uno de estos, debido a que no presentaban diferencias significativas y se procedía a tomar una única muestra compuesta o representativa para cada calicata; otra situación que se presentó y por la cual no se tomaron varias muestras de suelo en una sola calicata, se debió a que en algunos casos se evidenciaron contactos líticos o paralíticos dentro del suelo que impedían realizar la calicata a mayor profundidad, por lo cual se tomaba una sola muestra del horizonte de suelo encontrado, ya que las rocas fracturadas, el saprolito o regolitono corresponden a suelo desarrollado.

Las muestras para análisis fisicoquímico se colectaron en bolsas “ziploc” con capacidad para un kilogramo, se marcaron con su respectivo código (Fotografía 2.6), se conservaron bajo sombrío (al ambiente) y se enviaron para determinar los parámetros fisicoquímicos al laboratorio Campo en Equilibrio (Terrasil – UCO) (bajo las normas ISO 9001 de 2015 e ISO 14001 de 2015) en Rionegro Antioquia (Ver ANEXOS_CARACTERIZACIÓN_SUELOS _REPOR_LAB), donde se determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CICE), la clase textural a partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla, asimismo los minerales aluminio (Al), sodio (Na), nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn). En la Tabla 2.49 se presenta las metodologías empleadas por el laboratorio para realizar sus análisis. Posterior a la fase de laboratorio, se procedió a realizar cálculos nutricionales los cuales fueron comparados por los valores propuestos por (Osorio, 2015) y por (Jaramillo, 2014).



Fotografía 2.6 Muestra fisicoquímica, Densidad aparente y agentes contaminantes del suelo

Fuente: UCO, 2022

Tabla 2.49 Parámetros y metodologías empleadas para medir los factores fisicoquímicos del suelo en laboratorio

Parámetro	Método Usado por Laboratorio
Textura	Método de Bouyoucos
Densidad aparente y real (Dap y Dr)	Cilindro biselado
Humedad	Cálculo por diferencia
Materia Orgánica	Calcinación
pH	Electrométrico – pH con agua (1:2)
Nitrógeno (N)	Digestión – Destilación.
N-NH4+	Cloruro de potasio 1N
N-NO3-	Sulfato de aluminio 0.025M
Fósforo (P)	Método Bray II
Potasio (K) intercambiable	Extracción con Acetato de Amonio 1 N, pH 7
Calcio (Ca) intercambiable	Extracción con Acetato de Amonio 1 N, pH 7
Magnesio (Mg) intercambiable	Extracción con Acetato de Amonio 1 N, pH 7
Boro (B)	Agua caliente
Sodio (Na) intercambiable	Extracción con Acetato de Amonio 1 N, pH 7
Hierro (Fe)	Olsen modificado
Manganeso (Mn)	Olsen modificado
Cubre (Cu)	Olsen modificado
Zinc (Zn)	Olsen modificado
Azufre (S)	Fosfato de calcio 0.008M
Aluminio intercambiable (Al)	1KCL 1N
Conductividad eléctrica (CE)	Agua (1:2)

Parámetro	Método Usado por Laboratorio
CIC (Capacidad de intercambio catiónico)	Suma de cationes

Fuente: CHEMILAB y TERRASIL, 2022

Para la toma de las muestras para análisis de los agentes contaminantes cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), selenio (Se), níquel (Ni), grasas e hidrocarburos totales, se empleó la metodología norma NTC 3656, 4113-1 y 4113-2 (INCONTEC, 2014). Las muestras se colectaron en recipientes de plástico con capacidad para un kilogramo, se marcaron, se conservaron en cadena de frío a 12 grados Celsius y se enviaron para ser procesadas en el laboratorio Chemilab (RESOLUCIÓN N.°1618 de 23 de diciembre de 2021) en la ciudad de Bogotá, el cual cuenta con los parámetros acreditados (Ver ANEXOS _CARACTERIZACIÓN_SUELOS_REPOR_LAB).

En la Tabla 2.50 se presenta las metodologías empleadas por el laboratorio para los respectivos análisis.

Tabla 2.50 Parámetros y metodologías empleadas para medir elementos contaminantes

Parámetro	Método	Técnica Analítica
Cadmio total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión-AA- Llama Aire Acetileno
Cianuro	SM 4500 CN B, C-NTC 5596	Colorimetría
Estroncio	EPA 3050 B, SM 3120 B	ICP/OES-BQ
Grasas y aceites*	NMX-AA-145-SCFI-2008-NTC 3362:2005 -06- 29, Numeral 4, Método C	Extracción por ultrasonido - infrarrojo
Hidrocarburos *	NMX-AA-145-SCFI-2008-NTC 3362:2005 -06- 29, Numeral 7, Método F	Extracción por ultrasonido - infrarrojo
Mercurio total*	EPA 7471B, SM 3112 B	Espectrofotometría de absorción atómica- vapor frío
Niquel total*	EPA 3050 B, SM 3111B	Digestión-AA- Llama Aire Acetileno
Plomo total*	EPA 3050 B, SM 3111B	Digestión-AA- Llama Aire Acetileno
Selenio total*	EPA 7742 revisión O septiembre 1994 / SM 3114 C	Digestión-AA- generación de hidruros

Fuente: CHEMILAB, 2022

D. Parámetros medidos en campo

Una vez elaborada la calicata se describió el perfil llenando el formato (ver Figura 2.6) en el cual se copila la información de horizontes como espesor, colorimetría (según la tabla Munsell), granulometría, estructura, textura, presencia de fragmentos de roca, contactos líticos o paralíticos, profundidad efectiva de raíces, limitantes de profundidad, actividad macrobial, entre otras.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE ORIENTE –UCO

Laboratorio Suelos "Suelo Vital". Ruben Dario David Giraldo

Formato de descripción de perfiles en campo

Fecha:	Unidad muestreo:			Muestra Nro.
Departamento:	Municipio:		Vereda:	
Coordenadas:				Altitud:
Puntos clave de ubicación:				
Relieve o topografía:		Vegetación:		
Tipo de muestreo:				
Uso actual del suelo:				
Evidencias de erosión: Tipo de erosión: Grado: Descripción rápida:				
Limitantes de profundidad		Profundidad efectiva (cm)		
Drenaje Superficial:				
Drenaje interno:				
Drenaje natural:				
Características		Horizontes principales		
Nomenclatura				
Espesor (cm)				
Color Munsell	Código			
	Nombre			
Estructura	Tipo			
	Clase			
	Grado			
Textura	Arena			
	Limo			
	Arcilla			
Consistencia	Seco			
	Húmedo			
Raices	Tamaño			
	Cantidad			
Limites de los horizontes	Claro			
	Difuso			
	Gradual			
Actividad de macroorganismos:				
Muestras tomadas:				
Observaciones:				

Figura 2.6 Formato de descripción de suelos en campo

Fuente: UCO, 2022

a. Nomenclatura de horizontes

Esta se realizó siguiendo el instructivo de etapa de campo para el levantamiento de suelos del IGAC, en donde se realiza la asignación del símbolo para cada horizonte o capa de suelo, el cual está compuesto por una o dos letras mayúsculas, acompañadas por un sufijo. De acuerdo con las características de cada horizonte podrá adicionarse otros caracteres para la designación completa, basado en los criterios de clasificación establecidos en la Soil Taxonomy (2014) de la USDA (USDA, 2014).

b. Profundidad

Corresponde a la profundidad inicial y final de cada horizonte, esta se realizó empleando un metro de manera vertical.

c. Consistencia

En cuanto a la consistencia del suelo al tacto realizado en campo, en cada horizonte del suelo, siguiendo la metodología de (Jaramillo, 2014), se tomó una muestra de 5 a 10 gramos y se analizó al tacto en húmedo y en seco (ver Fotografía 2.7) para conocer la resistencia

que oponía a ser desmenuzado (dureza), su friabilidad y su grado de pegajosidad, respectivamente (ver Tabla 2.51).



Fotografía 2.7 Determinación de la consistencia de suelo al tacto en campo

Fuente: UCO, 2022

Tabla 2.51 Clasificación de la consistencia del suelo en campo

Consistencia del Suelo En Estado:		
Seco	**Húmedo**	**Mojado**
Suelta	Suelta	Pegajosidad
Blanda	Muy friable	No pegajoso
Ligeramente dura	Friable	Ligeramente pegajoso
Dura	Muy firme	Moderadamente pegajoso
Muy dura	Extremadamente firme	Muy pegajoso
Extremadamente dura	-	-

Fuente: (Jaramillo, 2014)

d. Estructura

Así mismo, en campo se realizó una identificación de la estructura del suelo, para definir el tipo de organización de los agregados del suelo, se observó con ayuda de una lupa y sobre una superficie contrastante, la forma, la orientación y disposición de estos, este proceso se realizó en todas las calicatas y teniendo en cuenta cada uno de los horizontes como lo exige

la metodología de taxonomía de suelos USDA (2014) (USDA, 2014) (ver Tabla 2.52 y Fotografía 2.8).

Tabla 2.52 Caracterización del tipo y de la clase de estructura del suelo

Clase (Tamaño de los Agregados) (mm)	**Disposición de los Agregados**						
	Laminiforme Orientación en un plano horizontal	**Prismas** Orientación alrededor de un eje vertical y caras verticales bien definidas		**Poliedros** Orientación alrededor de un punto		**Esferoides** Orientación alrededor de un punto	
		Sin redondeamiento en partes superiores y aristas	Con redondeamiento en partes superiores y aristas	Vértices y aristas angulosas	Vértices y aristas redondeadas	Muy poco porosos	Porosos
	Tipo (Forma)						
	Laminar	**Prismática**	**Columnar**	**Bloques Angulares**	**Bloques Subangulares**	**Granular**	**Migajosa**
Muy fina	<1	<10	<10	<5	<5	<1	<1
Fina	1 a 2	10 a 20	10 a 20	5 a 10	5 a 10	1 a 2	1 a 2
Media	2 a 5	20 a 50	20 a 50	10 a 20	10 a 20	2 a 5	2 a 5
Gruesa	5 a 10	50 a 100	50 a 100	20 a 50	20 a 50	5 a 10	5 a 10
Muy gruesa	>10	>100	>100	>50	>50	>10	>10

Fuente: extraído de Jaramillo, 2014, quien lo tomó de Soil Survey Division Staff, 1993



Fotografía 2.8 Determinación de la estructura del suelo

Fuente: UCO, 2022

e. Colorimetría

Para cada uno de los horizontes encontrados a través de la tabla MUNSELL se realizó la identificación la cual incluye matriz, pureza e intensidad del color, el suelo se humedeció antes de realizar el procedimiento (ver Fotografía 2.9).



Fotografía 2.9 Identificación de color con la tabla de colorimetría Munsell con muestra de suelo húmeda

Fuente: UCO, 2022

f. Densidad

Según el número de horizontes, se tomó muestras no perturbadas en cilindros biselados para determinar características físicas como densidad aparente (Dap), densidad real (Dr), porcentaje de humedad e indirectamente porcentaje de porosidad total del suelo, ya que este tipo de adquisición preserva la estructura natural del suelo esencial para mediciones físicas precisas. (véase Fotografía 2.10 y Fotografía 2.11).



Fotografía 2.10 Descripción de perfiles del suelo por medio de una calicata



Fotografía 2.11 Uso de cilindro biselado en Calicata

Fuente: UCO, 2022

g. Prueba de infiltración

Para conocer a capacidad de infiltración del suelo se realizó la prueba, siguiendo la metodología por (Jaramillo, 2014), mediante cilindros en las zonas de muestreo, la cual consistió en instalar dos cilindros, uno de cinco (5) pulgadas de diámetro en la parte externa, y otro de cuatro (4) pulgadas en el centro (técnica de doble anillo concéntrico), y se midió la velocidad de infiltración en interior con un diámetro de 4 pulgadas y una profundidad de 20 centímetros, posteriormente se le adicionó una lámina de agua, se midió con ayuda de un flexómetro el desplazamiento en los tiempos 5 minutos, 10, 15, 20, 30, 40, 50 y 60 min. (ver Fotografía 2.12 y Fotografía 2.13), con dichos datos se determinó la capacidad de infiltración del suelo y se realizó una gráfica para determinar la tendencia.



Fotografía 2.12 Curva de infiltración con lámina de agua



Fotografía 2.13 Medida de la curva de infiltración con la medición

Fuente: UCO, 2022

2.3.3.4.3 Fase análisis

La fase de análisis corresponde a la comparación de los resultados de campo y laboratorio, obtenida de la descripción de los perfiles se suelo, los resultados fisicoquímicos nutricionales del laboratorio, la descripción de la estructura, la plasticidad y finalmente con los datos de la curva de infiltración, se procedió a correr la clave de taxonomía de suelos para clasificarlos hasta el nivel de subgrupo (USDA, 2014) y (IUSS Working Group WRB, 2015).

Para la clasificación de la acidez de estos suelos encontrados desde el punto de vista productivo se realizó según la escala de clasificación del pH del suelo recomendada por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 1992, a saber (ver Tabla 2.53).

Tabla 2.53 Escala de clasificación del pH según el ICA

pH	Categoría	Interpretación
< 5,0	Extremadamente ácido	Severa toxicidad por Al y quizá por Mn; Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables; se esperan altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5,0 - 5,5	Fuertemente ácido	Toxicidad por Al y Mn; deficiencias de P, S, Mo y bases, altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento
5,5 – 6,0	Moderadamente ácido	No toxicidad por Al; mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases. Algunos cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento
6,0 – 6,5	Ligeramente ácido	Adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas
6,5 – 7,3	Neutro	Altos niveles de Ca, M. Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. La disponibilidad de P puede ser baja
7,4 – 8,0	Alcalino	Baja disponibilidad de P y micronutrientes. Altos niveles de Ca, Mg. El Na puede ser un problema.
> 8,0	Muy Alcalino	Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. El Na puede ser tóxico

Fuente: ICA (1992)

Por otro lado, para de determinación de contaminantes en el suelo se compararon los resultados de laboratorio con los rangos propuestos por TULSMA (2015), que hacen referencia a los contenidos permisibles para la salud humana, la industria y el ecosistema; también se empleó los rangos establecidos por Aguilar J, Dorronsoro, Gómez Ariza & Galán (1999), que hacen referencia a suelos agrícolas; así mismo se comparó con los valores establecidos en el protocolo de Lousina 29B C.I.M.A, (2014) y finalmente son comparó los valores encontrados los niveles propuestos por el Real decreto 9/2005 BOE (2005) en el que se establecen los rangos para contaminantes en suelos.

Así mismo, esta fase contempla la elaboración de los ítems referentes al uso actual del suelo, uso potencial y conflictos de uso del suelo.

A. Uso actual del suelo

El uso actual del suelo se determinó teniendo en cuenta los detalles de campo y el análisis de las coberturas de la tierra elaboradas con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), a escala 1:7.500 a partir de la interpretación de una imagen de satélite EarthScanner - JL-1KF01 del año 2023 con resolución espacial de

0,5 metros/píxel, y su posterior verificación y actualización en campo dentro del área de intervención del proyecto.

Así mismo, se incluyó el análisis de uso actual del suelo establecido en el territorio por los planes de ordenamiento territorial, correspondiente al esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de San Roque del 2022 (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022).

B. Uso potencial

El uso potencial o capacidad de uso se realizó mediante la metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso del IGAC (IGAC, 2021) y criterios complementarios de la USDA, que clasifica las tierras en 8 clases según limitaciones permanentes (topográficas, edáficas, hidrológicas y climáticas) para orientar el ordenamiento territorial.

Esta clasificación agrológica integra la vocación de uso, grupos de manejo y aptitud biofísica de los suelos, evaluando factores como pendiente, erosión, movimientos en masa, drenaje natural, inundaciones, encharcamientos, profundidad efectiva, fragmentos/pedregosidad superficial, afloramiento rocoso, fertilidad, contenido de sales/sodio, relación Ca/Mg, saturación de aluminio, distribución de lluvias, piso térmico y condición de humedad. Con el fin de darle al suelo un manejo adecuado según sus características biofísicas, las características de los suelos, sus limitaciones y los requerimientos de manejo para su conservación (IGAC, 2021); también se realizó un análisis de la información existente en el EIA de 2015 y en el EOT 2022 de San Roque. (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022).

La asignación de clases UCS (I-VIII) define usos sostenibles: I-IV para agropecuaria intensiva con prácticas de conservación; V-VI para agroforestal protector; y VII-VIII para conservación exclusiva, alineándose con los lineamientos actuales de estudios de suelos.

C. Conflicto de uso del suelo

Para el área de estudio, el conflicto de uso se determinó con base en el uso actual y el uso potencial según las clases agrologicas identificadas. Se evaluaron las prácticas de manejo y conservación, de acuerdo con la presencia o no de los requerimientos de implementación de los diferentes sistemas de manejo del suelo, por medio de la metodología del IGAG y CORPOICA para la zonificación de tierras en conflicto, la cual cruza el uso actual versus el uso potencial (CORPOICA & IGAC., 2002). En la Figura 2.7 se presenta la matriz de decisiones por conflicto de uso del suelo.

VOCACIÓN			USO ACTUAL										
			AGRICOLA				AGROFORESTAL		GANADERA		FORESTAL		CONSERVA-CIÓN
			CTI, CTS	CSI		CSS	SAG	SAP-SPA	PSI	PEX	FPR	FPP	CFP, CRH
	Tipo principal de uso		Cu	Cña, Ba, Fr,Cf, Pa	Ac	Cs-Cñ	Af	Pa	Pm	Ap, Pn	Bp	Bi, Ma	
AGRICOLA	Cultivos transitorios intensivos	CTI	A	A	S2	S2	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	CSI	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes y permanentes semi intensivos	CSS	O1	O1	A	A	A	S2	O1	S2	S1	S3	S3
AGROFO-RESTAL	Silvoagrícola	SAG	O3	O1	O2	O1	A	S2	O2	S1	A	S2	S3
	Agrosilvopastoril	SAP	O3	O1	O2	O1	O1	A	O2	A	A	S2	S3
	Silvopastoril	SPA	O3	O2	O3	O2	O2	A	O2	A	A	S2	S3
PECUA-RIA	Pastoreo intensivo y semiintensivo	PSI	O1	O1	O1	O1	O1	S1	A	S2	A	S3	S3
	Pastoreo extensivo	PEX	O3	O3	O3	O2	O2	S1	O1	A	A	S2	S3
FORESTAL	Producción	FPR	O3	O2	O3	O3	S1	O1	O3	S2	A	S2	S3
	Protección -producción	FPP	O3	O3	O3	O3	O2	O2	O3	O1	A	A	A
	Protectora	CFP	O3	O3	O3	O3	O2	O3	O3	O2	A	O1	A
CONSER-VACIÓN	Recursos hídricos	CRH	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A
	Recuperación	CRE	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A

Figura 2.7 Esquema de matriz de decisión por conflicto de uso del suelo

Fuente: (CORPOICA & IGAC., 2002)

2.3.3.5 Metodología caracterización componente Hidrología

La caracterización hidrológica se realizó mediante la identificación de los cuerpos de agua que serán influenciados por el proyecto, hasta los puntos de interés donde fue necesario calcular los caudales para los análisis de línea base requeridos en los permisos de concesión de agua, ocupación de cauce y vertimientos, y una cuenca adicional que se caracteriza con el fin de cubrir el área total del área de influencia, la cual es la quebrada el Topacio.

Se caracterizaron las cuencas del río Nus hasta la estación Caramanta y el punto aguas abajo hasta dónde puede llegar la longitud de mezcla de los vertimientos, así como las quebradas El Banco, Guacas, San Antonio, La Colorada, El Basal, La María y La Palestina, ubicadas en la margen derecha del río Nus, consideradas como los cauces principales del proyecto. Además, se incluyeron todos los cauces que presentan algún tipo de uso o afectación por parte del proyecto. (Ver Figura 2.8).

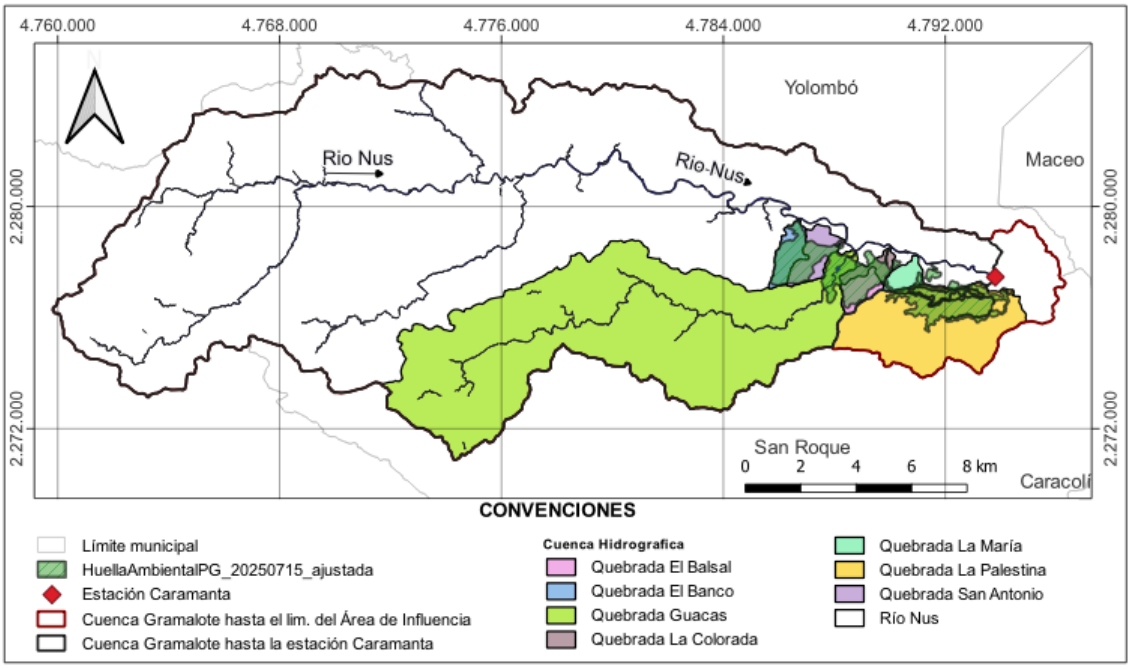


Figura 2.8 Cuencas asociadas al área de estudio

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.3.5.1 Recopilación de Información

En esta etapa se recopiló y revisó la información primaria y secundaria que se encuentra disponible que se lista a continuación:

- Cartografía IGAC 1:25.000 y 1:10.000, y la topografía LiDAR del proyecto
- Los registros de las diferentes variables climatológicas e hidrológicas de las estaciones con influencia en la zona del proyecto del IDEAM.

2.3.3.5.2 Caracterización de parámetros base

Durante esta fase se revisaron los registros de las series de precipitación y caudal, realizando un análisis estadístico de calidad y consistencia, el cual busca brindar confiabilidad sobre los estimativos que son realizados para la zona del proyecto.

Adicionalmente, se identificaron los principales cuerpos de agua, valorando para cada uno de ellos su zonificación hidrográfica. Este proceso abarcó la caracterización de las cuencas ubicadas dentro del área de influencia y la zona/subzona hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Además de esto se determinan los sistemas lóticos/lenticos existentes en la zona, describiendo sus características morfológicas según la información existente de los estudios de impacto ambiental anteriores de la mina y se caracterizó la red de drenaje (Ver cartografía base GDB y ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES).

A. Análisis de calidad y consistencia

Para determinar la calidad de la información registrada por las estaciones se realizó un conjunto de pruebas estadísticas que permiten detectar las anomalías en las series. Las

inconsistencias detectadas como resultado de estas pruebas pueden deberse a fenómenos extremos naturales, intervenciones antrópicas o errores de medición. Sólo en el último de los casos es correcto corregir las series, por lo que se analizó detalladamente caso por caso el resultado de cada prueba.

A continuación, se describen los diferentes análisis que se realizaron a los datos de las estaciones hidro climatológicas.

a. Análisis de homogeneidad

Por homogeneidad se entiende que dos series de datos provienen de la misma población (World Meteorological Organization (WMO), 2009). Para este proyecto se utilizó la prueba no paramétrica de Pettitt. (Pettitt, 1979), la cual permite verificar cambios en la forma de distribución estadística de los registros (World Meteorological Organization, 2006). Esta metodología subdivide la serie en dos subperiodos de tiempo (Wijngaard, Klein Tank, & Können, 2003) permitiendo detectar cambios abruptos en el valor medio de los valores.

Esta prueba también es aplicable para la comprobación de un punto de cambio desconocido al considerar una secuencia de variables aleatorias $X_1, X_2, ., X_N$, la cual tiene un punto de cambio en un tiempo T. Como resultado $(X_1, X_2, ., X_T)$ tienen una función de distribución común $F_1\,(.)$, pero $(X_{T+1}, X_{T+2}, \ldots, X_{N)}$, se distribuyen como $F_2\,(.)$ siendo $F_1\,(.) \neq F_2\,(.)$. La hipótesis nula H_0 establece que no existe cambio $T = N$, y es probada frente a la hipótesis alternativaH_1. Existe un punto de cambio en la media$(1 \leq T < N)$; y es compara mediante el estadístico no paramétricoK_T. Los rangos $r_1, r_2, \ldots, r_N$, de la serie $Y_1, Y_2, \ldots, Y_N$, se utilizan para calcular el estadístico (véase la Ecuación 2.8).

$$U_K = 2\sum_{i=1}^{k} r_i - k(n-1) \quad k = 1{,}2 \ldots, N$$

Ecuación 2.8 Prueba de Pettitte

La representación gráfica de los valores resultados de la prueba, pueden demostrar la ocurrencia de un punto en la serie en donde U_k alcanza un máximo o un mínimo (véase la Ecuación 2.9).

$$K = \max(U_K) \qquad 1 \leq K \leq N$$

Ecuación 2.9 Parámetros de la prueba de Pettitte

Para probar la significancia estadística del punto de cambio, se compara el valor calculado de con su valor teórico en el nivel de probabilidad dado como (véase la Ecuación 2.10).

$$K_\propto = \left[\frac{-\ln(N^3 + N^2)}{6}\right]^{1/2}$$

Ecuación 2.10 Estadístico de la prueba de Pettitte

Fijado $(\alpha = 0{,}05)$ la hipótesis nula se rechaza cuando. Cuando exista un punto de cambio, la serie es fragmentada en el punto de cambio.

b. Análisis de tendencia

Para el caso de estudio se empleó la prueba de Mann-Kendall, una prueba estadística no paramétrica para determinar si existe algún tipo de tendencia en la serie de tiempo bajo un determinado nivel de confianza (Machiwa & Kumar, 2013).

Esta prueba fue propuesta inicialmente por (Mann, 1945) y posteriormente ajustada por (Kendall, 1975). Se ha encontrado que este tipo de prueba es una excelente herramienta para la detección de tendencias (Hirsch, Slack, & Smith, 1982).

Considerando una serie de tiempo, cada valor X_t de la serie es comparado con los valores posteriores $(X_T + 1)$ y se genera una nueva serie Z_K cómo se describe en la Ecuación 2.11 (Salas, 1993).

$$Z_K = 1 \quad ; para\ X_t > X_{t'}$$
$$Z_K = 0 \quad ; para\ X_t = X_{t'}$$
$$Z_K = -1 \; ; para\ X_t < X_{t'}$$

Ecuación 2.11 Parametrización de la serie Z_k

Donde k está dado por la Ecuación 2.12:

$$k = \frac{(t' - 1)(2n - t')}{2 + (t - t')}$$

Ecuación 2.12 Cálculo del valor k para la prueba de Mann-Kendall

El estadístico de Mann-Kendall (S) se define como sigue a continuación en la Ecuación 2.13 (Hirsch, Slack, & Smith, 1982):

$$S = \sum_{t'=1}^{n-1} \sum_{t=t'+1}^{n} Z_k$$

Ecuación 2.13 Calculo del estadístico S para la prueba de Mann-Kendall

Por lo tanto, este estadístico representa el número de diferencias positivas menos el número de diferencias negativas para todas las diferencias consideradas. Un valor de S>0 indica una tendencia creciente, mientras que un valor negativo S≤0 indica una tendencia decreciente (Hirsch, Slack, & Smith, 1982).

Adicionalmente, el estadístico (S) presenta una distribución normal con media cero (Yu, Zou, & Whittemore, 1993), y el valor crítico de la prueba y la varianza pueden escribirse como se presenta a continuación (Hirsch, Slack, & Smith, 1982).

$$u_c = \frac{S + m}{\sqrt{V(S)}}$$

Ecuación 2.14 Valor crítico de la prueba de Mann-Kendall

Donde:

$$V(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{g} e_i(e_i - 1)(2e_i + 5)\right]$$

Ecuación 2.15 Cálculo del valor V para la prueba de Mann-Kendall

Cabe señalar que Kendall sugirió el uso de la prueba Mann-Kendall incluso para valores bajos de n (tan bajos como 10) siempre que no existan muchos valores vinculados. Hirsch (Hirsch, Slack, & Smith, 1982) reportó el uso de esta prueba para series de tiempo estacionales.

c. Análisis de datos espurios (Outliers)

Un “outlier” es una observación que queda anormalmente lejos del comportamiento general que exhibe una serie de datos. Estos pueden ser causados por errores de medida, de transcripción, averías de los instrumentos y/o problemas de calibración. En este sentido, estos valores dan la impresión de ser muestras de una distribución distinta al resto de las observaciones.

Con el propósito de detectar posibles anomalías que puedan presentarse en los registros, se procedió a realizar una inspección grafica de los datos. Una vez identificados, se realizó la comparación de estos valores con los eventos asociados al fenómeno del Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Para este caso se utilizó el Índice Multivariado del Fenómeno del Niño (MEI).

Adicionalmente, se aplicó la prueba de Grubbs y Beck, la cual, es la recomendada por el (Water Resources, 1981) de Estados Unidos. Para ser empleada es necesario suponer que los logaritmos u otra función de la serie hidrológica están distribuidos normalmente, ya que, la prueba solo es aplicable a muestras obtenidas de una población normal. Para efectuar esta prueba se calcularon los siguientes parámetros:

$$X_H = \exp(\bar{x} + K_N s)$$

$$X_L = \exp(\bar{x} - K_N s$$

Ecuación 2.16 Cuantiles de la prueba de Grubbs y Beck

Donde X y S son la media y la desviación típica de los logaritmos naturales de la muestra, y KN es la estadística de Grubbs y Beck tabulada para varios tamaños de muestra y niveles de importancia. Al aplicar la prueba todo valor superior a XN se considerará un dato anómalo de valor elevado, y todo valor inferior a XL se considerará un dato anómalo de valor bajo (World Meteorological Organization (WMO), 2009).

B. Descripción y localización de la red hidrográfica

En este capítulo se describieron y localizaron los drenajes encontrados en el área de influencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

C. Zonificación Hidrográfica

En este capítulo se presenta la zonificación de unidades hidrográficas de Colombia a escala 1:500.000, de acuerdo con lo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2013, las cuencas fueron caracterizadas para la subzona hidrolgráfcica 2308-05 del río Nus, donde se caracterizaron 183 cuencas.

D. Caracterizaciones morfológicas de las cuencas

En este ítem se presentó los parámetros morfométricos de las cuencas que se encuentran ubicadas a la margen derecha de río Nus y corresponden a las quebradas (1) El Topacio, (2) El Banco, (3) San Antonio, (4) La Colorada, (5) El Basal, (6) La María, (7) Guacas y (8) La Palestina. Se resalta que el proceso de estimación se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizando los insumos cartográficos y topográficos disponibles.

Los parámetros geo-morfométricos hallados en este estudio son en su mayoría parámetros que caracterizan geométricamente la cuenca y se describen a continuación:

- **Área de cuenca:** Consiste en la medida de la superficie en planta de la cuenca contenida en la divisoria de aguas.
- **Perímetro de la cuenca**: Longitud medida sobre los límites de la cuenca.
- **Pendiente media de la cuenca:** Es la pendiente ponderada para toda la cuenca. Se obtiene a partir de la relación entre el producto de la longitud de las curvas de nivel que aparecen en la cuenca por la equidistancia entre las mismas y la superficie total de la cuenca.
- **Longitud axial:** Distancia de una línea recta que va desde el punto de interés en la cuenca hasta el punto más lejano de la divisoria de aguas.
- **Ancho medio de la cuenca:** Es un parámetro promedio que se obtiene a partir de la relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal.
- **Altura media de la cuenca:** Es la elevación promedia referida respecto al nivel al cual se encuentra el punto de interés o de descarga de la cuenca.
- **Cota más alta de la divisoria:** Altura respecto al nivel del mar del punto más alto sobre la divisoria de aguas de la cuenca.
- **Longitud del cauce principal:** Distancia medida a lo largo del curso fluvial de mayor orden, desde la divisoria hasta el punto de interés
- **Cota más alta del cauce:** Altura respecto al nivel del mar del punto más alto sobre el cauce principal de la cuenca
- **Pendiente cauce principal:** Es la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida entre la longitud del cauce principal.
- **Cota sitio de interés o de estudio:** Altura respecto al nivel del mar del sitio objeto de estudio.
- **Índice de compacidad, Kc**: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca. Cuanto más irregular sea la hoya, mayor será su coeficiente de compacidad.

  Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1895):

  - Clase Kc1: Rango entre 1 y 1,25. Corresponde a una forma redonda a oval redonda,
  - Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a una forma oval redonda a oval oblonga,
  - Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a una forma oval oblonga a rectangular oblonga.
- **Índice de sinuosidad:** El factor de desarrollo de meandros existentes en el cauce principal. Se determina a partir de la relación de la longitud del cauce y la longitud axial de la cuenca. Las cuencas con índice de sinuosidad bajo tienden a tener un alta pendiente y una mayor fuerza erosiva. De acuerdo con el índice de sinuosidad se pueden asignar los cauces como (Schumm, 1963):

- Entre 1 y 1.2: Cauce Rectilíneo
- Entre 1.2 y 1.5: Cauce Transicional
- Entre 1.5 y 1.7 Cauce Regular
- Entre 1.7 y 2.1: Cauce Irregular
- Superior a 2.1: Cauce Tortuoso

- **Factor de forma de Horton, Kf**: El factor de forma es la relación entre el ancho medio y la distancia entre los puntos más distantes de la corriente, o la relación entre el área y la longitud mayor de la cuenca al cuadrado. Las cuencas con Kf bajo son menos propensas a tener lluvias intensas en toda la cuenca, y por ende son menos susceptibles a las crecidas.
- **Forma:** Se determina a partir de la relación entre el ancho medio de la cuenca y el largo máximo de esta. Este indicador pretende parametrizar la cuenca de tal manera que a través de este parámetro se obtenga una aproximación a su forma geométrica

Tabla 2.54 Expresiones base para cuantificar los índices morfométricos de las cuencas

Parámetro	Ecuación
Índice de compacidad de Gravelius [Kc] Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca.	$K_c = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$
Relación de Horton [Kf] Relaciona el área de la cuenca (A) con el cuadrado de su longitud máxima (Lm).	$Rf = \frac{A}{Lm^2}$
Relación de Sinuosidad [Is] Es la relación entre el diámetro de un círculo de área (A) igual a la cuenca y la longitud máxima (Lm) de la cuenca.	$Is = 1{,}128\frac{\sqrt{A}}{Lm}$

Fuente: Integral S.A., 2025

E. Patrones de drenaje

En este capítulo se caracterizó la red de drenaje asociada a cada hoya hidrográfica. Este proceso se ejecutará tomando como base el terreno, las pendientes y los mapas de acumulación de flujo (generados a partir de operaciones SIG). Concluido este proceso y siguiendo los lineamientos exigidos por los términos de referencia, se clasificará cada corriente conforme a los patrones que son definidos en la literatura técnica: tipo dendrítico, paralelo o rectangular. A continuación, se realiza una breve descripción de los principales elementos que son utilizados para su categorización.

- Patrón de drenaje dendrítico: La característica general de este conjunto de cuencas corresponde a que muestran una ramificación en sus corrientes tributarias, formando ángulos predominantemente agudos en la desembocadura y en el cauce principal. Este tipo de drenaje se presenta en zonas con suelos homogéneos o en áreas de depósitos sedimentarios. La dirección del flujo está determinada básicamente por la pendiente del terreno.
- Patrón de drenaje tipo paralelo: Este tipo de drenaje se caracteriza por la tendencia que presentan los tributarios a fluir paralelamente al cauce principal. Este patrón es común

en cuencas con alta y mediana permeabilidad, con presencia de controles estructurales, moderadas coberturas vegetales, laderas altas y pendientes fuertes.

- Patrón de drenaje rectangular: Este tipo de drenaje se caracteriza por tener descargas a la corriente principal en ángulos casi rectos (≈90°). Este patrón se origina principalmente gracias a las fracturas de las rocas o a la transición entre los tipos de suelo presentes sobre la hoya hidrográfica.

2.3.3.5.3 Valoración Hidro climatológica

En este capítulo se realiza un análisis temporal y espacial de las variables climáticas precipitación, temperatura y la evapotranspiración, a través del análisis de sus series temporales a una escala anual y mensual, así como la valoración de sus valores máximos, medio y mínimos.

2.3.3.5.4 Recarga Hídrica

La estimación de la recarga hídrica se evaluó a partir de los resultados obtenidos por la metodología de Balance hídrico y el método de Kennessey. A continuación de describe los procedimientos realizados en cada metodología.

A. Método de Balance Hídrico

El método de balance hídrico para la estimación de la recarga precipitación utiliza el principio de la conservación de masa para un volumen definido, donde el cambio del almacenamiento es el resultado de la diferencia entre los flujos de entrada y de salida del sistema. Para su estimación se utilizó la Ecuación 2.17.

$$R = P - ESC - ETP - \Delta S_{max}$$

Ecuación 2.17 Recarga Potencial

Donde

R: recarga potencial, en mm/año
P: precipitación, en mm/año
ESC: escorrentía superficial, en mm/año
ETP: evapotranspiración potencial, en mm/año
∆Smax: coeficiente de capacidad de almacenamiento

El cálculo de la escorrentía superficial de la zona de interés se realizó mediante el método desarrollado por el Soil Conservation Service (S.C.S.), el cual relaciona la precipitación y el coeficiente de capacidad de almacenamiento S, teniendo en cuenta las pérdidas por infiltración, evapotranspiración y retención definidas según el método. Ver Ecuación 2.18.

$$ESC = \frac{(P - 0{,}2 \times S)^2}{P + 0{,}8 \times S}$$

Ecuación 2.18 Escorrentía superficial o Precipitación efectiva

Donde:

ESC: escorrentía superficial, en mm/día

P: precipitación diaria, en mm
∆Smax: coeficiente de capacidad de almacenamiento

El coeficiente de capacidad de almacenamiento (S), representa el almacenamiento máximo en un área determinada debido principalmente a fenómenos de infiltración, y en menor medida a la detención, intersección y evaporación. Esta variable está relacionada con la definición del número de curva (CN), que a su vez es función de las siguientes características: (1) Cobertura vegetal, (2) Tipo y uso del suelo, (3) Impermeabilidad y (4) Humedad antecedente (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Para este proceso se utilizó la Ecuación 2.19.

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

Ecuación 2.19 Coeficiente de capacidad de almacenamiento

Para la definición del número de curva se utilizó la clasificación de suelo por categorías hidrológicas del S.C.S. En la Tabla 2.55 se observa su clasificación en orden decreciente de permeabilidad. Las categorías hidrológicas son: A, B, C y D, donde la categoría “A” corresponde a suelos gravosos y/o arenosos con una alta permeabilidad hidráulica y la categoría “D” está conformada por suelos arcillosos altamente plásticos (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Tabla 2.55 Descripción del grupo de suelo

Grupo de suelo	Descripción
A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados
B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa
C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla
D	Suelos que se expanden significativamente cuando se moja, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos

Fuente: Hidrología aplicada (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Caracterizado el grupo hidrológico, a partir del mapa de coberturas (Ver Figura 2.9) se definió para cada área el número de curva según la Tabla 2.56.

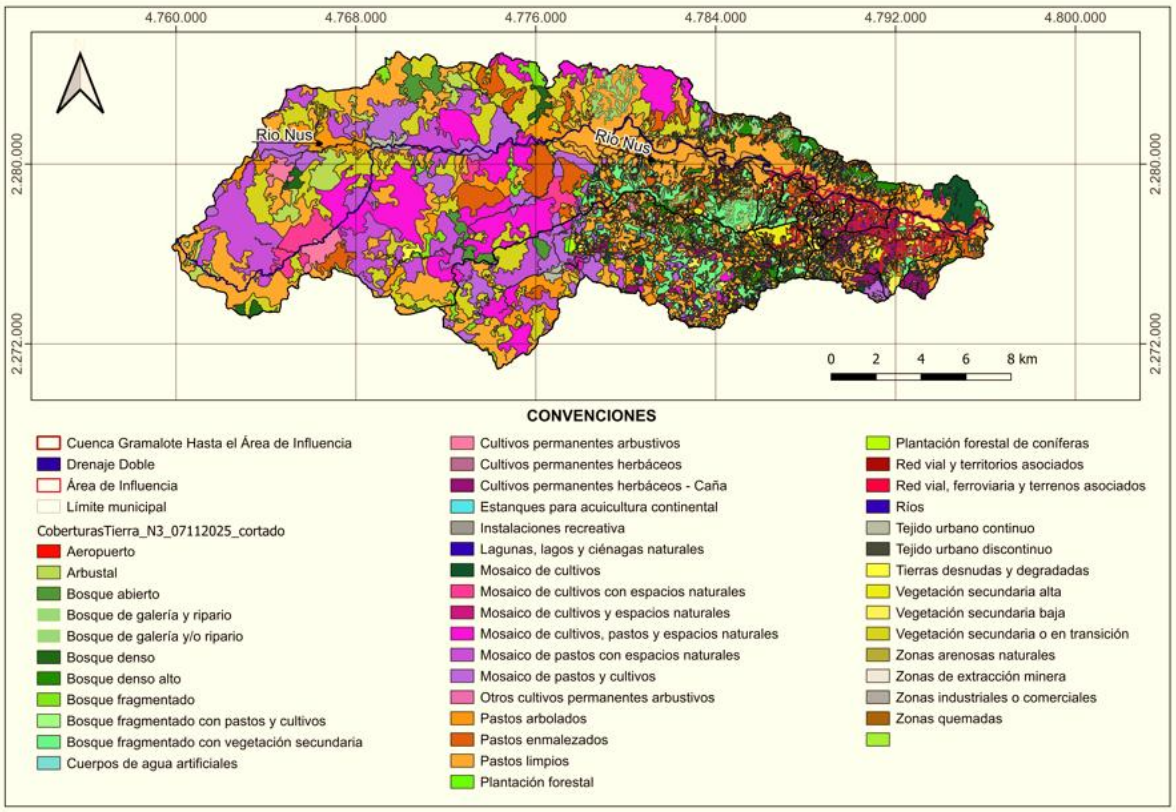


Figura 2.9 Mapa de coberturas de suelo en el área de estudio

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.56 Numero de Curva para el grupo hidrológico de la zona

Descripción de Cobertura	NC (Grupo C)
Tejido urbano continuo	98
Tejido urbano discontinuo	90
Zonas industriales o comerciales	94
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	89
Aeropuertos	98
Zonas de extracción minera	96
Instalaciones recreativas	79
Cultivos permanentes herbáceos	80
Cultivos permanentes arbustivos	78
Otros cultivos permanentes arbóreos	78
Pastos limpios	86
Pastos arbolados	79
Pastos enmalezados	74
Mosaico de cultivos	80
Mosaico de pastos y cultivos	83
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	79
Mosaico de pastos con espacios naturales	82
Mosaico de cultivos y espacios naturales	77
Bosque denso	70
Bosque abierto	77

Descripción de Cobertura	NC (Grupo C)
Bosque fragmentado	80
Bosque de galería y ripario	71
Plantación forestal	77
Vegetación secundaria o en transición	77
Zonas arenosas naturales	85
Tierras desnudas y degradadas	87
Zonas quemadas	96
Ríos (50 m)	100
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	100
Cuerpos de agua artificiales	100

Fuente: (Chow V., Handbook of Applied Hydrology, 1988)

Con el fin de estimar la recarga en condiciones medias multianuales, se analizaron los registros de precipitación mensual de las estaciones de precipitación cercanas a la zona de estudio.

Se realizó un análisis espacial de la lluvia, con las estaciones con información disponible para cada año mediante la aplicación de los polígonos de Thiessen, asignando a cada estación un porcentaje del área de la cuenca.

Con las series de precipitación diarias definidas, se realizó el cálculo de la escorrentía con base en la abstracción inicial (i_a) asumida como el 20% del almacenamiento potencial (S). Los resultados a escala diaria de esta variable fueron acumulados para obtener el valor mensual de la escorrentía para cada área. Posteriormente se realizó la estimación de la infiltración, a nivel mensual, como la diferencia entre la precipitación y la escorrentía.

Una vez se estiman la infiltración y la evapotranspiración potencial a nivel mensual se evalúa la humedad del suelo como la diferencia entre estas dos variables, con el fin de verificar la posibilidad de que se presente recarga. Y finalmente, a partir de la Recarga, se estima el potencial de recarga (R) hacia los acuíferos para la zona de estudio.

B. Método de Kennessey

El método desarrollado por (Kennessey, 1930) ha sido aplicado con resultados exitosos y es particularmente versátil, ya que, permite cuantificar la recarga a partir de los elementos principales que influyen en el proceso de escorrentía, como: (1) Pendiente del terreno, (2) Permeabilidad, (3) Cobertura vegetal, (4) Uso del suelo, (5) Precipitación y (6) Temperatura presente en la zona de estudio.

El método permite calcular el coeficiente de escorrentía (CK), definido como la capa de agua que fluye sobre la superficie, el cual es determinado por la suma de tres componentes: (1) Pendiente del terreno (CA), (2) Distribución de la cobertura vegetal (CV) y (3) Permeabilidad de la roca y terrenos aflorantes (CP); su estimación se realizó mediante la aplicación de la Ecuación 2.20.

$$CK = CA + CV + CP$$

Ecuación 2.20 Coeficiente de escorrentía

La clasificación de cada uno de los componentes con cada una de sus categorías se presenta en la Tabla 2.57; estos son estos son utilizados para asignar los coeficientes de acuerdo con lo propuesto por Kennessey, y parten de la estimación del Índice de Aridez (Ia) calculado para el área de estudio.

De acuerdo con lo propuesto por (Tardi & Vittorini, 1977) el índice de Aridez valorado con el Método de (De Martonne, 1926), es el parámetro en función del cual se hace la elección del coeficiente de escorrentía (CK). El índice se calculó aplicando la Ecuación 2.21.

$$Ia = \frac{\left[\frac{P}{T+10} + 12\frac{p}{t}\right]}{2}$$

Ecuación 2.21 Índice de Aridez

Donde:

Ia: Índice de Aridez medio anual
P: precipitación media anual, en mm
T: temperatura media anual, en °C
p: precipitación media mensual, en mm
t: temperatura media mensual, en °C

Tabla 2.57 Clasificación de componentes del coeficiente de escorrentía

Índice de aridez		**<25**	**25 - 40**	**>40**
Pendiente (CA)				
Ca1	A > 35%	0,22	0,26	0,30
Ca2	10% < A < 35%	0,12	0,16	0,20
Ca3	3,5% < A < 10%	0,01	0,03	0,05
Ca4	A < 3,5%	-	0,01	0,03
Cobertura vegetal (CV)				
Cv1	Roca desnuda	0,26	0,28	0,30
Cv2	Pastizales	0,17	0,21	0,20
Cv3	Tierra de cultivo, bosques	0,07	0,11	0,15
Cv4	Bosque de árboles altos	0,03	0,04	0,05
Permeabilidad (CP)				
Cp1	Impermeable	0,21	0,26	0,30
Cp2	Media	0,12	0,16	0,20
Cp3	Buena	0,06	0,08	0,10
Cp4	Elevada	0,03	0,04	0,05

Fuente: (Tardi & Vittorini, 1977)

La asignación del coeficiente CA se realizó a partir de las pendientes encontradas en el área de influencia, el coeficiente CV se categorizó según el tipo de coberturas establecidos en esta metodología, por último, el coeficiente CP se valoró de acuerdo con el uso del grupo hidrológico.

Estimados cada uno de los coeficientes, se usó la Ecuación 2.20 para obtener el coeficiente CK, y luego se procedió a estimar la escorrentía superficial considerando la precipitación media a partir de la Ecuación 2.22, esta estimación se hizo a través de la herramienta "calculadora ráster" del software QGis versión 3.38.0.

$$ESC = CK \times P$$

Ecuación 2.22 Escorrentía superficial

Donde:

ESC: escorrentía superficial, en mm/año
CK: coeficiente de escorrentía
P: Precipitación media anual, en mm/año

Utilizando la misma herramienta anterior, se calculó la recarga anual en el subsuelo a través de la aplicación de la Ecuación 2.23.

$$R = P - ETR - ESC$$

Ecuación 2.23 Recarga Anual

Donde:

R: recarga anual en el subsuelo, en mm/año
P: precipitación media anual, en mm/año
ETR: evapotranspiración real media anual, en mm/año
ESC: escorrentía superficial o escurrimiento medio anual, en mm/año

2.3.3.5.5 Caracterización de Caudales

Para cada una de las cuencas identificadas, se estimaron los caudales medios, máximos y mínimos para diferentes períodos de retorno (Tr). A continuación, se describe la metodología de cálculo para cada uno.

A. Caudales medios

La estimación de los caudales medios para la cuenca del río Nus se realizó a partir de la serie histórica de caudales diarios de la estación de Caramanta, y para analizar el comportamiento de los caudales medios se elaboró la curva de duración de caudales, la cual se adimensionaliza por el respectivo caudal medio.

Por otro lado. para las demás cuencas de interés que no están instrumentadas con estaciones de caudal, la estimación de los caudales medios se realizó a partir de la metodología del balance hídrico de largo plazo y el método de transferencia de información.

a. Método del balance hídrico a largo plazo

El balance hidrológico se realizó mediante un volumen de control que asume las ecuaciones de conservación de masa. Para este caso dicho volumen es el que comprende las columnas de agua y suelo comprendidas entre la divisoria de la cuenca, el borde superior de la atmósfera y un estrato impermeable en el fondo del suelo, donde las variables que intervienen en el proceso son: (1) El flujo de humedad en la atmósfera [F], (2) La precipitación [P], (3) La evaporación [E], (4) La escorrentía directa [R], (5) El almacenamiento de agua en la atmósfera [W], y (6) El almacenamiento de agua en el suelo [S] -ver Figura 2.10.

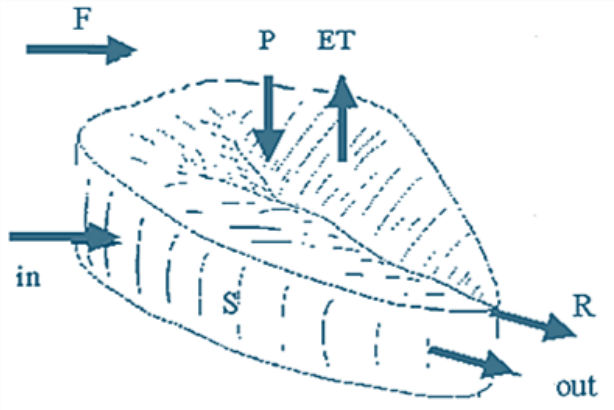


Figura 2.10 Esquema balance hidrológico

Fuente: Integral S.A., 2025

El balance hídrico en la atmósfera y en el suelo está dado por la Ecuación 2.24 y la Ecuación 2.25

$$F + E - P = \frac{dW}{dt}$$

Ecuación 2.24 Balance hídrico respecto a la atmosfera

$$P - E - R = \frac{dS}{dt}$$

Ecuación 2.25 Balance hídrico respecto al suelo

Al combinar ambas expresiones, se obtiene la Ecuación 2.26 para el balance hídrico en todo el volumen de control:)

$$F - R = \frac{d(W + S)}{dt}$$

Ecuación 2.26 Balance hídrico para el volumen de control

Considerando un balance a largo plazo (del orden de años), se tiene que los cambios en el almacenamiento de agua en la atmósfera (W) y en el almacenamiento de agua en el suelo (S) son despreciables. Así, se puede expresar el balance hídrico a largo plazo como se muestra en la Ecuación 2.27.

$$R = P - E$$

Ecuación 2.27 Balance hídrico a largo plazo

Siendo las variables R, P y E promedios tomados sobre un largo periodo de tiempo por unidad de área.

Considerando que este proceso involucra un MDT tipo ráster, la Ecuación 2.27 se aplicó sobre cada píxel interior que se encuentra dentro las cuencas que son objeto de estudio. Así se obtuvo sobre cada celda de análisis la columna de agua que aporta a la escorrentía superficial. Finalmente, el caudal medio se obtuvo sumando todos los aportes que fueron estimados mediante la metodología anteriormente descrita.

La ecuación utilizada para obtener los caudales medios a largo plazo corresponde a la siguiente:

$$Q = (P - E) * A$$

Ecuación 2.28 Caudal medio a largo plazo

La evapotranspiración depende fundamentalmente de las condiciones climáticas, las cuales a su vez son función de las características físicas de la atmósfera, la vegetación, la calidad del agua y el área de la superficie del cuerpo de agua.

A continuación, se presentan el método de cálculo que se utilizó para estimar la evapotranspiración.

- **Método Cenicafé**

Para calcular la evapotranspiración potencial total anual se utilizó la ecuación propuesta Cenicafé (Chávez & Jaramillo, 1998), la cual permite calcular la evapotranspiración potencial a partir de la elevación sobre el nivel del mar (véase la Ecuación 2.29).

$$ETP = 1700.17EXP(-0.0002 * H)$$

Ecuación 2.29 Evapotranspiración por método de Cenicafé

Donde:

ETP: es la evapotranspiración potencial.
H: es la altura en m.s.n.m.

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizaron dos metodologías, las cuales se presentan a continuación.

- **Método Budyko**

Se evaluó la evapotranspiración real, la cual considera la disponibilidad energética, hídrica y las condiciones aerodinámicas. Para este fin se utilizó la ecuación de Budyko, obtenida en 1974 por medio de balance de masas, tal y como se indica en la Ecuación 2.30.

$$TR\left(\frac{mm}{año}\right) = \left\{ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right)\left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]\right\}^{1/2}$$

Ecuación 2.30 Evapotranspiración real según Budyko

- **Método de Turc**

La formulación de la Ecuación 2.31 está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como temperatura y precipitación.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25t + 0{,}05t^3$$

Ecuación 2.31 Evapotranspiración real por el método de Turc

Donde:

P: Precipitación (mm/año).
t: Temperatura media anual (°C).

El cálculo del mapa de evapotranspiración se realizará empleando la herramienta "*calculadora de mapas*" del software Qgis.

b. Método de transferencia de Información

Este método consiste en trasladar la información a una cuenca de interés donde no se tiene registro de caudales, desde una cuenca cercana cuyo comportamiento hidrológico y estadístico es similar y existen registros hidrometereológicos. El caudal medio multianual en la cuenca sin datos se estima con base en el caudal medio multianual de la cuenca con información (pivote), las áreas de drenes y/o las precipitaciones de la cuenca a con y sin información de caudal, tal como se indica en la Ecuación 2.32.

$$\frac{Q_I}{P_I * A_I} = \frac{Q_R}{P_R * A_R}$$

Ecuación 2.32 Ecuación de transferencia de caudal

Donde:

A_R: área de drenaje de la cuenca con registros (Pivote)
P_R: Precipitación promedio multianual en la cuenca con registros (Pivote)
Q_R: Caudal medio diario multianual en la cuenca con registros (Pivote)
A_i: Área de drenaje de la cuenca de interés sin registros
P_i: Precipitación promedia multianual en la cuenca de interés sin registros
Q_i: Caudal medio diario estimado (por transferencia) en la cuenca de interés (sin registros)

La estimación pivote para realizar la trasferencia se hizo con la información de la estación limnigráfica Caramanta y las precipitaciones medias en ala cuencas se obtuvieron a partir de las isoyetas generadas a partir de las estaciones de lluvia cercanas las cuencas de intereses.

B. Caudales máximos

El río Nus cuenta con registros históricos diarios de caudales en la estación Caramanta, y se realizó un análisis de frecuencia de los caudales máximos diarios multianuales, evaluando diferentes funciones de ajuste de distribución de probabilidad que se ajustaran a las mediciones y a las tendencias observadas en los datos, y así, luego definir los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

El análisis de frecuencia consistió en ordenar los datos de precipitaciones máximas en 24 horas anuales de mayor a menor, asignando una probabilidad de ocurrencia según varias distribuciones de frecuencia: Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson

Por otro lado, debido a que las demás cuencas de interés en la zona de estudio no se encuentran instrumentadas, y no es posible aplicar metodologías directas (análisis de frecuencia), se recurrió a modelos lluvia – escorrentía, los cuales serán la base para estimar las magnitudes de las crecientes máximas.

Los modelos lluvia – escorrentía se basan en el principio que considera los caudales máximos de una cuenca como función de la lluvia que lo produce y de la manera como la hoya hidrográfica responde a este fenómeno meteorológico; por lo tanto, la probabilidad de

ocurrencia de las crecientes está relacionada directamente con el período de retorno de la lluvia que las provocó. A continuación, se hace una síntesis de las consideraciones más importantes utilizadas en el desarrollo de este tipo de modelos:

- Precipitaciones

Se caracterizaron las precipitaciones máximas diarias multianuales (análisis de frecuencia para diferentes periodos de retorno) eligiendo como foco de lluvia la estación San Roque, ya que es la estación más cercana a la zona de estudio y a las cuencas de análisis.

Adicionalmente, la estación San Roque es la de mayores lluvias de las estaciones cercanas, esto garantiza un cálculo conservador de los caudales.

- Tiempo de concentración

La duración de las tormentas máximas para diferentes períodos de retorno se considera igual al tiempo de concentración de cada cuenca, ya que se ha observado que esta duración es la más crítica para la generación de las crecientes, lo anterior se debe a que toda la escorrentía producida en cada cuenca alcanza a sumarse en el punto de interés en este tiempo, por lo que teóricamente, duraciones mayores no generan un aumento en el caudal pico de la hidrógrafa.

El tiempo de concentración de las cuencas estudiadas se calculó como el promedio de los valores obtenidos mediante expresiones propuestas por diferentes autores como: (Kirpich, 1990), (Giandotti, 1990), (Bransby, 1990), (Ventura-Heron, 1990), U.S.C.E, y (Chow V., Handbook of Applied Hydrology, 1988). Estas son función de los parámetros morfométricos de las cuencas, como el área, la longitud del cauce principal y la diferencia máxima de altura. Las expresiones utilizadas para estimar este parámetro se presentan en la Tabla 2.58.

Tabla 2.58 Ecuaciones del tiempo de concentración

Metodología	Ecuación
KIRPICH:	$T_c = 0{,}0195 \times L^{0{,}77} \times {S_{mc}}^{-0{,}382}$
GIANDOTTI:	$T_c = 60 \times \left(4A^{0{,}5} + \frac{1{,}5\left(\frac{L}{1000}\right)}{0{,}8{\Delta_H}^{0{,}5}} \right)$
BRANSBY:	$T_c = 58{,}5 \times \left(\frac{\frac{L}{1000}}{\left(A^{0{,}1} \left(\frac{\Delta_H}{\frac{L}{1000}} \right)^{0{,}2} \right)} \right)$
VENTURA	$T_c = 60 \times 0{,}3 \times \left(\frac{\frac{L}{1000}}{S^{0{,}25}} \right)^{0{,}75}$
U.S.A.C. E	$T_c = 60 \times 1{,}67 \times 0{,}126 \times \left(\frac{\frac{L}{1000}}{S^{0{,}25}} \right)^{0{,}76}$
CHOW	$T_c = 60 \times 1{,}67 \times 0{,}123 \times \left(\frac{\frac{L}{1000}}{S^{0{,}5}} \right)^{0{,}64}$

Fuente: Integral S.A., 2025

Donde:

T_c: Tiempo de concentración en minutos.
L: Longitud en metros.
S_{mc}: Pendiente media del cauce.
Δ_H: Diferencia de Cotas desde el punto más alto del cauce hasta el más bajo en metros.
A: Área de la cuenca en km^2.

- Distribución de la precipitación en el tiempo

El Método Racional considera una distribución uniforme de la lluvia en el tiempo. No obstante, para el cálculo de los caudales por medio de los hidrogramas unitarios de Williams - Hann y del U.S. S.C.S., se asume la distribución desarrollada por Huff para el segundo cuartil (correspondiente al 50% de probabilidad -ver Figura 2.11-), la cual es ampliamente utilizada en nuestro medio para tormentas de tipo convectivo ocasionadas por fenómenos orográficos, como es el caso de las que se presentan en la zona de estudio.

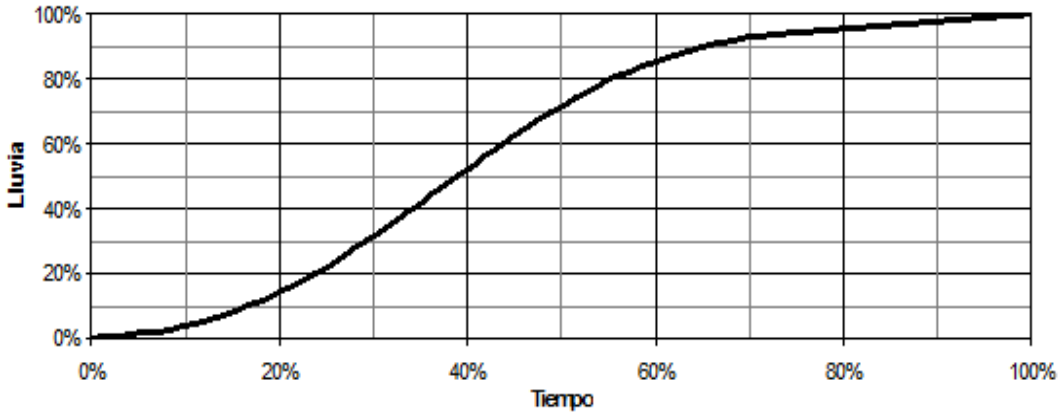


Figura 2.11 Distribución de la precipitación en el tiempo

Fuente: Integral S.A., 2025

- Factor de reducción de la precipitación en el área y en el tiempo

Dado que los modelos lluvia escorrentía consideran uniforme la precipitación que cae sobre la cuenca, ignorando la variación espacial interna del flujo en la misma, debe considerarse un factor de corrección tanto en el espacio como en el tiempo.

Para cuencas de drenaje con áreas menores a 20 km^2 se considera que no es necesario aplicar un factor de reducción en el área, pues es posible que se presente una tormenta generalizada en toda la cuenca con valores promedio cercanos a los máximos registrados; por tal razón para estas cuencas se utilizó el valor puntual de la precipitación. Para cuencas con áreas mayores a 20 km^2 se utilizó la curva de reducción en el área para lluvias convectivas deducida en Estados Unidos (Wiesner, 1970) ya que se ha demostrado su aplicabilidad para este en nuestro medio.

En relación con el factor de reducción en el tiempo se utilizó una curva propuesta por Integral S.A., que ha sido construida a partir de una extensa base de datos de precipitación en varias zonas del país.

Para hacer la reducción en el tiempo se asumió que la duración de las tormentas máximas para diferentes períodos de retorno en cada una de las cuencas de interés es igual al tiempo de concentración. Se ha observado que esta duración tiende a ser la más crítica para la generación de la creciente, tal y como se mencionó en el anterior literal. El factor de reducción en el tiempo está determinado por la Ecuación 2.33.

$$\frac{P}{P_d} = a + b \times \mathrm{Ln}(Tc)$$

Ecuación 2.33 Factor de reducción de la precipitación en el tiempo

- Precipitación efectiva

La precipitación efectiva corresponde a la precipitación total menos las pérdidas de precipitación por infiltración, retención y evapotranspiración. Para estimar las pérdidas se utilizó el método propuesto por el U. S. Soil Conservation Service, en el cual las pérdidas se calculan a partir de la intensidad de la precipitación y del número de curva, que a su vez es función de la cobertura vegetal, el tipo y uso del suelo, la impermeabilidad del terreno y su humedad antecedente.

En el caso de aplicación del Método Racional en la estimación de crecientes, las pérdidas se evalúan a través de la definición de un coeficiente de escorrentía (C) que depende principalmente de parámetros como la permeabilidad del suelo, la pendiente y las características de encharcamiento de la superficie.

El número de curva depende del tipo del suelo, del tratamiento superficial que éste presente, de su condición hidrológica y de su humedad antecedente que puede relacionarse con la precipitación en los cinco días anteriores. En relación con la humedad antecedente del suelo se diferencian tres grupos:

- AMC-I: Para suelos secos.
- AMC-II: Para suelo intermedios.
- AMC-III: Para suelos húmedos.

Para tener en cuenta las condiciones de humedad antecedente a la lluvia máxima de cada período de retorno, se consideró la condición Tipo II, que corresponde a una humedad promedia.

Además, se ubicará la zona dentro de un grupo hidrológico del suelo, el cual está definido como el potencial de infiltración después de una lluvia prolongada. El tipo de suelo se clasificó en cuatro categorías hidrológicas, según el método del SCS. En orden decreciente de permeabilidad las categorías hidrológicas son:

- Grupo de Suelo A: alta infiltración (baja escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas cubiertos con vegetación (bosque o rastrojo alto) con grado de meteorización 30/50 según Brand (1988) y con discontinuidades en la matriz de suelo producto del proceso de descomposición de la roca. Las estructuras heredadas funcionan como canales de flujo principales. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 7%. También se incluyen los suelos que presentan un efecto geológico marcado por diaclasas, bandeamientos, y cuyo buzamiento se da en ángulos mayores a 60°.
- Grupo de Suelo B: infiltración moderada (escorrentía moderada). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias poco denudados con grado de meteorización 0/30 según Brand (1988) y con discontinuidades difícilmente cartografiables en campo. Las estructuras heredadas ya no son tan importantes en la permeabilidad del conjunto, por lo cual la permeabilidad primaria es la que controla el flujo de agua en el suelo. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 10%.
- Grupo de Suelo C: infiltración baja (escorrentía de moderada a alta). Suelos residuales derivados de cualquier tipo de roca, y cuyo grado de meteorización se clasifique como residuales maduros (SR, Brand – 1988), en los cuales las propiedades y minerales del material parental no son fácilmente identificables. Esta formación tiene como característica principal que está cubierta por pastos manejados y sus pendientes varían entre un 5 y 15%.
- Grupo de Suelo D: muy poca infiltración (alta escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyo grado de meteorización varía entre 50/90 y en donde la pendiente media excede 15%. El tipo de vegetación en este grupo no es de mayor importancia ya que el fuerte gradiente topográfico impide la recarga de los acuíferos en la zona, generando por el contrario un flujo hipodérmico hasta aflorar

nuevamente en superficie y hacer parte del agua que se aporta al canal principal de la cuenca.

El número de curva se definió ponderando en el área los usos del suelo de cada cuenca utilizando la Tabla 2.59.

Tabla 2.59 Números de curva para diferentes usos del suelo según condiciones de humedad antecedente Tipo II.

Descripción de usos del suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Zona de parqueo pavimentada, Techada.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentos con bordillos y alcantarillas	98	98	98	98
Afirmado	76	85	89	91
Suelo compactado	72	82	87	89
Cultivos (Cosecha agrícola) del suelo:				
Sin tratamientos de conservación (Sin terrazas)	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación (Terrazas, Contornos)	62	71	78	81
Pastos o gama de suelos				
Pobre (< 50% cobertura del suelo por pastos muy continuos)	68	79	86	89
Buena (50-75% Cobertura del suelo por pastos poco continuos)	39	61	74	80
Prado (pasto sin pastar y corto para follaje)	30	58	71	78
Rastrojo (bueno, >75% cobertura de suelo)	30	48	65	73
Bosques y selvas				
Pobre (árboles pequeños – rastrojo destruido después de quema o rozada)	45	66	77	83
Regular (rozado, pero sin quema, algunos rastrojos)	36	60	73	79
Bueno (sin rozado, cobertura de suelo rastrojo)	30	55	70	77
Espacios abiertos (pastos, parques, canchas de golf, cementerios, etc.):				
Regular (cobertura de pastos 50-75% del área)	49	69	79	84
Bueno (cobertura de pastos >75% del área)	39	61	74	80
Zonas comerciales y de negocios (85% impermeable)	89	92	94	95
Zonas industriales (72% impermeable)	81	88	91	93
Áreas residenciales:				
Lotes de 505 m2, cerca de 65% impermeable	77	85	90	92
Lotes de 1.011 m2, cerca de 38% impermeable	61	75	83	87
Lotes de 2.023 m2, cerca de 25% impermeable	54	70	80	85
Lotes de 4.046 m2, cerca de 20% impermeable	51	68	79	84

Fuente: Chow, 1994

Con el número de curva ponderado se calculó el almacenamiento potencial (S), que representa el almacenamiento máximo en una cuenca debido principalmente a fenómenos de infiltración, y en menor medida a la detención, intersección y evaporación, los cuales están relacionados con las condiciones de cobertura y tipos de suelo presentes en la cuenca hidrográfica. Para este proceso se asumió la Ecuación 2.34.

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

Ecuación 2.34 Ecuación de almacenamiento

Donde:

S: Almacenamiento potencial de la cuenca (mm).

CN: Número de curva (adimensional).

Por último, la precipitación efectiva se estimó con base en la precipitación dada para cada periodo de retorno y la abstracción inicial (Ia), asumida como el 20% del almacenamiento potencial (S), según las siguientes ecuaciones:

$$I_a = 0{,}2S$$

Ecuación 2.35 Ecuación de abstracción inicial

$$P_e = \frac{(P - 0{,}2 \times S)^2}{P + 0{,}8 \times S}$$

Ecuación 2.36 Ecuación de precipitación efectiva

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (mm).
P: Precipitación media (mm).

a. Aplicación método racional

Este método ampliamente utilizado para la estimación de caudales de crecientes es aplicable a cuencas con tamaños relativamente pequeños (menores a 3 km²). Permite estimar el caudal asociado con una intensidad de lluvia determinada mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CIA}{3{,}6}$$

Ecuación 2.37 Caudal máximo estimado por el método racional

Donde:

Q: Caudal máximo (m^3/s).
C: Coeficiente de escorrentía (Adimensional).
I: Intensidad de la precipitación máxima para un determinado período de retorno y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/hora).
A: Área de la cuenca (km^2).

Los coeficientes de escorrentía (C, se establecerán a partir de los coeficientes de las tablas de valores publicadas por Chow (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Tabla 2.60 Coeficientes de escorrentía para el Método Racional para coberturas del Corine Land Cover

Descripción de Cobertura	Coeficientes de Escorrentía	2,33	5	10	25	50	100
Tejido urbano continuo	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Tejido urbano discontinuo	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Zonas industriales o comerciales	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Aeropuertos	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Zonas de extracción minera	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Instalaciones recreativas	Área Urbana	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Cultivos permanentes herbáceos	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Cultivos permanentes arbustivos	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Otros cultivos permanentes arbóreos	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Pastos limpios	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Pastos arbolados	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Pastos enmalezados	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Mosaico de cultivos	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Mosaico de pastos y cultivos	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Mosaico de pastos con espacios naturales	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Bosque denso	Área Bosques	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Bosque abierto	Área Bosques	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Bosque fragmentado	Área Bosques	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Bosque de galería y ripario	Área Bosques	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Plantación forestal	Área Bosques	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Vegetación secundaria o en transición	Área Cultivos	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Zonas arenosas naturales	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Tierras desnudas y degradadas	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Zonas quemadas	Área de pastos	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
Ríos (50 m)	Aguas	1	1	1	1	1	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Aguas	1	1	1	1	1	1
Cuerpos de agua artificiales	Aguas	1	1	1	1	1	1

Fuente: Modificado de Chow, 1994

A partir de herramientas SIG se definirán los porcentajes de cada tipo de cobertura en las cuencas de análisis.

b. Aplicación Hidrogramas Unitarios

Los hidrogramas unitarios utilizados para obtener los caudales máximos de las cuencas de estudio no instrumentadas fueron:

I. Hidrograma Unitario del U.S Conservation Servicie

El método del U.S. Soil Conservation Service (SCS) usa un hidrograma triangular adimensional desarrollado a partir del análisis de un gran número de cuencas rurales en los Estados Unidos de América.

El hidrograma unitario de las cuencas se calculó multiplicando las ordenadas y abscisas del hidrograma adimensional propuesto por el U.S. S.C.S (Ver Figura 2.12) por el caudal pico y el tiempo al pico característico de cada cuenca.

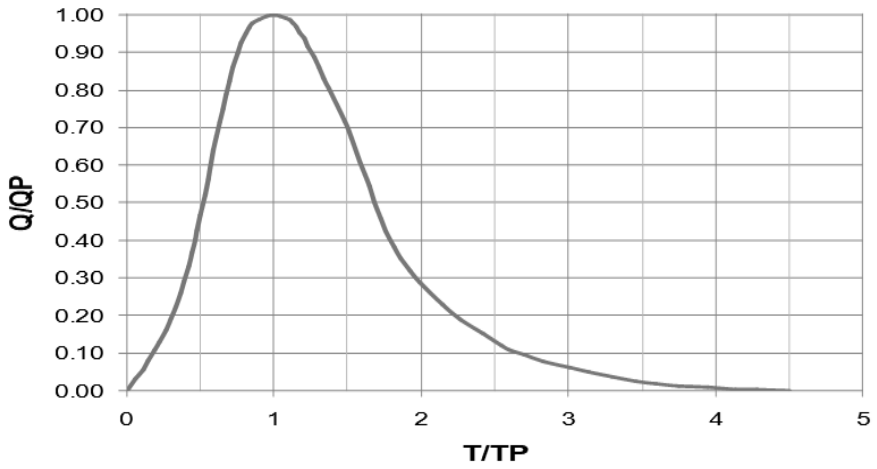


Figura 2.12 Hidrograma Unitario Adimensional propuesto por el U.S. S.C.S

Fuente: Integral S.A, 2025

Las expresiones empleadas para calcular dichos parámetros son las que se muestran en la Ecuación 2.38.

$$Tp = \frac{D}{2} + lAG$$

$$Ap = 0.208 * \frac{A}{Tp}$$

Ecuación 2.38 Relaciones de tiempo y caudal pico para el hidrograma unitario del U.S S.C.S.

Donde:

Tp: Tiempo al pico (Horas)
D: Duración unitario de la lluvia (Horas)
Lag: Tiempo de retraso de la cuenca (Horas)
A: Área de la cuenca (Km²)
Qp: Caudal pico (m³/s/mm)

II. Hidrograma -Método de Williams y Hann

Este método permite determinar hidrogramas sintéticos a partir de un hidrograma adimensional presentado en la Figura 2.13. El modelo se fundamenta en una relación empírica entre el tiempo al pico y la constante de recesión, como función de parámetros

geomorfológicos de la cuenca, tales como el área, la longitud del cauce principal, la pendiente promedia de la cuenca, el ancho promedio y la diferencia de niveles entre el nacimiento y la salida.

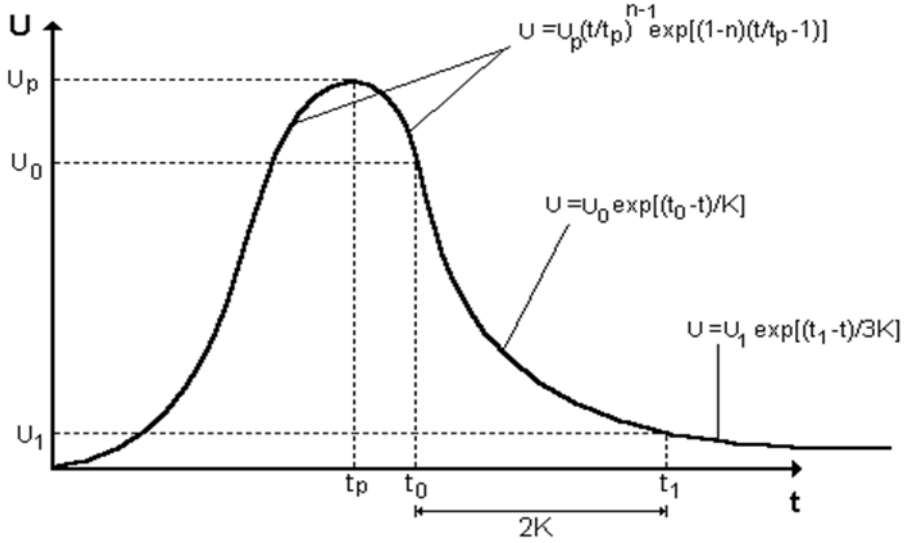


Figura 2.13 Hidrograma Unitario Adimensional propuesto por Williams & Hann

Fuente: Integral S.A, 2025

El método fue deducido originalmente con base en ecuaciones de regionalización hidrológica para cuencas de los Estados Unidos con áreas entre 1,3 km² y 65 km², que reflejan las características propias de esas latitudes, en terrenos planos con regímenes hidrológicos, características geomorfológicas y usos del suelo diferentes a las condiciones locales; sin embargo, para la aplicación del método en algunas zonas del Departamento de Antioquia, normalmente se utilizan las ecuaciones calibradas para algunas cuencas en un trabajo de grado realizado en la Universidad Nacional de Colombia (Cardona & Londoño, 1991).

Para la aplicación del método de Williams y Hann inicialmente se calcularon los parámetros para la construcción del hidrograma unitario sintético. Las expresiones empleadas para calcular estos parámetros son las que se muestran en la Ecuación 2.39.

$$Tp = 4.63 * A^{0.422} * SLP^{-0.46} * \left(\frac{L}{W}\right)^{0.133}$$

$$K = 27 * A^{0.231} * SLP^{-0.777} * \left(\frac{L}{W}\right)^{0.124}$$

$$Qp = \frac{B * A * R}{896.99 * Tp}$$

Ecuación 2.39 Relaciones de tiempo y caudal pico para el método de Williams y Hann

Donde:

Tp: Tiempo al pico (m)
A: Área de la cuenca (km²)

SLP: Relación entre la diferencia de cotas en la cuenca y la longitud del cauce principal (pie/milla).
L/W: Relación longitud - ancho de la cuenca, equivalente a la relación entre la longitud al cuadrado y el área (L^2/A).
Qp: Caudal máximo del hidrograma unitario (M^3/S)
R: Profundidad unitario-efectiva asociada con la hidrógrafa.

El parámetro B empleado para el cálculo del caudal máximo es función de una constante n, la cual depende de la relación entre la constante de recesión (K) y el tiempo al pico (Tp) (Ver Figura 2.14).

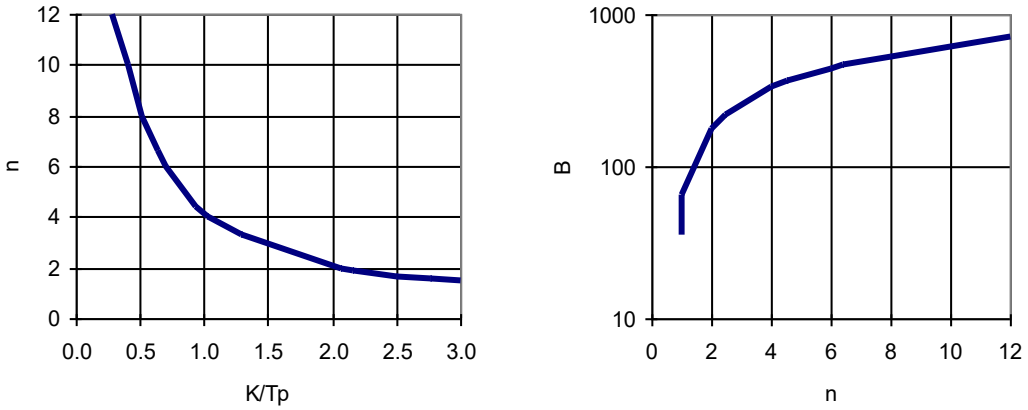


Figura 2.14 Curvas para estimar los parámetros n y B del Hidrograma unitario de Williams y Hann

Fuente: Integral S.A, 2025

En el caso de la aplicación de las hidrógrafas unitarias, las crecientes se obtuvieron mediante la convolución entre las tormentas de cada período de retorno y el hidrograma unitario obtenido para cada cuenca. Para llevar a cabo estos cálculos se utilizaron programas desarrollados por Integral S.A.

C. Caudales mínimos

La estimación de los caudales mínimos para el río Nus, se hicieron mediante un análisis de frecuencia considerando funciones de distribución de probabilidad para la serie de caudales mínimos diarios anuales de la estación Caramanta, de las cuales se seleccionaron la función de distribución que presente el mejor ajuste para estimar los caudales mínimos esperados en el río Nus para diferentes períodos de retorno.

Para las demás cuencas de análisis, se emplearon métodos de regionalización para cuencas con poca o ninguna información, donde se relacionan características geomorfológicas, climáticas y topográficas con las características medias de caudales mínimos. Los procedimientos empleados corresponden a los siguientes: Metodologías EPM I, III, IIIA y IIIB y Cornare V, todas estas mediante la regionalización de Antioquia (ver Tabla 2.61).

Tabla 2.61 Metodologías de regionalización para estimación de Qmin

Metodología de regionalización	Ecuaciones
EPM I	$Media = 0{,}01114 * A^{1{,}087}$ $Desv_{est} = 0{,}002948 * A^{1{,}087}$
EPM III	$Media = 10^{-5{,}281} * A^{0{,}903} * Pma^{1{,}086}$ $Desv_{est} = 10^{-5{,}257} * A^{0{,}944} * Pma^{0{,}9027}$
EPM IIIA	$Media = 10^{-1{,}753} * A^{0{,}984}$ $Desv_{est} = 10^{-2{,}326} * A^{1{,}011}$
EPM IIIB	$Media = 10^{-5{,}281} * A^{0{,}903} * Pma^{1{,}086}$ $Desv_{est} = 10^{-5{,}437} * A^{0{,}683} * Long^{0{,}516} * Pend^{0{,}322} * Pma^{0{,}868}$
CORNARE V	$Media = e^{(-14{,}678+1{,}327*Ln(Pma)+1{,}043*Ln(A))}$ $Desv_{est} = e^{(-21{,}075+1{,}985*Ln(P)+1{,}608*Ln(Pma))}$

Fuente: (Empresas Públicas de Medellín, 2005)

Donde:

A: Área de la cuenca (km^2).
Pma: Precipitación media anual (mm/año).
Pend: Pendiente media del cauce principal (%).
Long: Longitud del cauce principal (km).
P: Perímetro (km).

La ecuación general de frecuencia es utilizada en todas las metodologías y es calculada a partir de la Ecuación 2.40 , esta se usa para considera los periodos de retorno que se desean utilizar en el estudio, sus valores se presentan en la Tabla 2.62 y son usados para el calcula de los caudales mínimos, siguiendo lo indicado en la expresión que es presentada en la Ecuación 2.41.

$$K_{tr} = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.5772 + \ln\left[-\ln\left(\frac{1}{Tr}\right)\right]\right\}$$

Ecuación 2.40 Ecuación general de frecuencia

Donde:

Tr: Periodo de retorno (años)

$$Q_{TR} = \mu \pm K_{TR} * \sigma$$

Ecuación 2.41 Caudal mínimo

Donde:

Q: Tr: caudal mínimo (m^3/s).
μ: Media.
δ: Desviación estándar.
K_{Tr}: Factor de frecuencia.

Tabla 2.62 Valores de factor de frecuencia para cada periodo de retorno

Tr (años)	1,01	2,33	5	10	20	25	30	50	100
K Tr	3,14	-0,32	-0,82	-1,10	-1,30	-1,36	-1,40	-1,51	-1,64

Fuente: Integral S.A., 2025

Adicional a la metodología ya expuesta para la cuenca del Nus se aplicó el análisis de frecuencia utilizando las mismas distribuciones estadísticas presentadas anteriormente en el cálculo de caudales máximos. El análisis de frecuencia consistió en ordenar los datos de precipitaciones máximas en 24 horas anuales de mayor a menor, asignando una probabilidad de ocurrencia según varias distribuciones de frecuencia: Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson para los caudales mínimos del río Nus.

Luego estos caudales mínimos fueron transpuestos a las cuencas diferentes al río Nus utilizando la metodología presentada en el Método de transferencia de Información ya descrito en las metodologías de caudales medios.

2.3.3.5.6 Caudal Ambiental

Para el cálculo del caudal ambiental se consideraron las dos metodologías que son descritas en la Guía Técnica Para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) seleccionando de ellos el mayor valor que sea estimado.

I. Metodología 1

De acuerdo con lo estipulado en la Resolución 865 del 2004, como primera aproximación al caudal ambiental puede adoptarse el valor máximo del caudal ecológico obtenido mediante la aplicación de los siguientes lineamientos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014):

- Porcentaje de descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.
- Reducción por caudal ambiental: el caudal ecológico en esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

II. Metodología 2

El valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración. Este valor característico se aplica para un Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) superior a 0,7 -alta retención y regulación-. Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Los valores máximos de los caudales anteriores fueron los caudales ambientales seleccionados para todas las obras que implicaran algún uso de los cuerpos de agua o sus rondas, y en el caso de las captaciones estos caudales fueron afectados por los factores de la metodología planteada por (Grecco, 2005), la cual parte de una visión holística del cauce y de la misión de los siguientes parámetros del ecosistema ripario:

Calidad fisicoquímica de las aguas que caracterizan el tramo afectado

1. Demanda de agua para la dilución de contaminantes en el sector afectado.
2. Índice de integridad biótica de peces.
3. Presencia de especies acuáticas amenazadas o en peligro de extinción.
4. Calidad biológica del agua.
5. Índice biótico de la vegetación riparia.
6. Diversidad del Perifiton.
7. Modificación del paisaje.

8. Usos del agua en el sector con caudal alterado.

2.3.3.5.7 Indicadores hidrológicos

A. Indicie de Aridez

El Índice de Aridez (IA) es una característica cualitativa del clima, el cual permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación de tal forma que garantice el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica, además, aquellas áreas con déficit o excedencia de agua, cálculo que es realizado partiendo del balance hídrico superficial (IDEAM I. , 2015).

Para este estimativo es analizada la evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP) según las ecuaciones Ecuación 2.29, Ecuación 2.30 y Ecuación 2.31.

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Ecuación 2.42 Índice de Aridez (IDEAM I. , 2015)

Se debe señalar que el déficit de agua es representado por valores altos de IA, esto se debe a que gran cantidad de agua disponible es propensa a evaporarse. Por otra parte, valores bajos de IA resultan de regiones con altos excedentes de agua (IDEAM I. , 2015). La clasificación cualitativa se presenta en la Tabla 2.63.

Tabla 2.63 Categorías cualitativas de interpretación del índice de Aridez – IA

Rango de valores IA	Descripción
< 0,15	Altos excedentes de agua
0,15 – 0,19	Excedentes de agua
0,20 – 0,29	Moderado – excedentes de agua
0,30 – 0,39	Moderado
0,40 -0,49	Moderado – deficitario de agua
0,50 – 0,59	Deficitario de agua
> 0,60	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM, 2015

B. Índice de Retención y Regulación Hídrica – IRG

El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) permite conocer la cantidad de humedad que es capaz de retener una cuenca en específico, lo anterior garantizando las condiciones naturales de regulación (IDEAM I. , 2015). Bajos valores de este parámetro indican que la cuenca no tiene capacidad significativa de retener la humedad y regular los caudales, lo que implica a su vez que en verano e invierno los flujos presentes sobre los cuerpos de agua desciendan y aumenten abruptamente.

En la Ecuación 2.43 se indica la relación utilizada para el cálculo del IRH, en la cual Vmed es el volumen representado por el área que se encuentra debajo de la línea que representa el caudal medio y Vtot corresponde al área total bajo la curva de duración de caudales diarios (IDEAM I. , 2015). En la Tabla 2.64 se presenta la calificación cualitativa de IRH según su magnitud.

$$IRH = \frac{Vmed}{Vtot}$$

Ecuación 2.43 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IDEAM I. , 2015)

Tabla 2.64 Categorías del Índice de Retención y Regulación Hídrica

Rango de valores IRH	Calificación	Descripción
< 0,50	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad
0,50 – 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
0,65 – 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad media
0,75 – 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM, 2015

C. Índice de Uso del Agua (IUA)

El Índice del Uso del Agua (IUA) es la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores de usuarios en un período determinado. Este indicador representa la relación porcentual existente entre la demanda hídrica de agua y la oferta hídrica total disponible. La descripción de este índice se consolida en la Tabla 2.65.

Tabla 2.65 Descripción Índice de Uso del Agua

Elemento	Descripción	
Nombre y sigla	**Índice de Uso de Agua (IUA)**	
Objetivo	Estimar la relación porcentual entre la demanda de agua actual, con respecto a la oferta hídrica disponible.	
Fórmula	Relación porcentual de la demanda de agua actual en relación con la oferta hídrica disponible. IUA = (Dh / Oh) * 100	
Variables y Unidades	IUA: índice de uso del agua Dh: Demanda Hídrica Actual Oh: Oferta hídrica superficial disponible. Oh: Oh total - Qamb Oh total: Volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada, el cual corresponde al caudal medio adoptado por cuenca. Qamb: Caudal ambiental.	
Insumos	Los insumos para el cálculo de este índice son: la demanda hídrica por cuenca y caudales caracterizado por cada cuenca	
Rangos y categorías Índice de uso de agua		
Rango (Dh/Oh)*100 IUA	**Categoría IUA**	**Significado**
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50,01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2018

D. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por Desabastecimiento (IVH)

El Índice de Vulnerabilidad Hídrica por Desabastecimiento se define como el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta durante el abastecimiento de agua. El IVH se determinó según lo ilustrado en la Tabla 2.66.

Tabla 2.66 Descripción Categorías para IVH

Elemento	Descripción				
Nombre y sigla	**Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH)**				
Objetivo	Determinar la fragilidad de mantener la oferta de agua para abastecimiento				
Definición	Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) – podría generar riesgos de desabastecimiento.				
Fórmula	El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA).				
Variables y Unidades	Adimensional				
Insumos	La información básica requerida para el cálculo de este indicador son los índices de regulación hídrica (IRH) y de uso de agua (IUA).				
Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico IVH					
IUA Extremo = porcentaje (Oferta/demanda)		**Índice de regulación**			
Rango	**Categoría**	**Alta**	**Moderado**	**Baja**	**Muy baja**
< 1	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
1 - 10	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
10 - 20	Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
20 - 50	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
50 - 100	Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
> 100	Crítico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: IDEAM, 2013

2.3.3.5.8 Modelación Hidráulica

En este capítulo se describe la metodología utilizada para la modelación del comportamiento hidrodinámico del río Nus y las quebradas San Antonio, Guacas, La Colorada, El Torito, y La Palestina. La modelación se realizó bajo dos escenarios: (1) las condiciones actuales o existentes de los cuerpos de agua y (2) las condiciones proyectadas, teniendo en cuenta las obras de intervención en cada afluente; a partir de estos, se obtuvieron los niveles de la lámina de agua, las velocidades de flujo y así mismo las manchas de inundación asociadas a diferentes periodos de retorno.

Sobre el río Nus se revisaron los diferentes crecientes con énfasis en los cascos urbanos de los corregimientos de Providencia y San José del Nus, así como en la vereda Efe Gómez perteneciente al Corregimiento de San José del Nus del Municipio San Roque.

A. Información Utilizada

Para el estudio hidráulico se utilizó la información hidrológica, cartográfica, levantamientos topográficos y visitas de campo como se indica a continuación:

- Información hidrológica: la información hidrológica utilizada sobre el río Nus correspondió a las crecientes para diferentes períodos de retorno, obtenidas a través del análisis de frecuencia de los caudales reportados por el IDEAM en la estación limnigráfica Caramanta. Para los demás afluentes se utilizó los caudales obtenidos a partir de los modelos lluvia escorrentía para las respectivas cuencas de drenaje.
- Levantamientos batimétricos: Para la modelación del río Nus se utilizó la información de un levantamiento topográfico-batimétrico detallado de la franja ribereña a lo largo del río Nus en un tramo de 30,6°km de longitud, en donde se registró tanto la zona húmeda como la seca del río y su contorno. Las secciones se tomaron de tal manera que cubrieran un buen tramo de las llanuras de inundación, los centros poblados, marcas de creciente, cambios de alineamiento horizontal o vertical, entre otros detalles; en total se

obtuvieron 515 secciones a lo largo del tramo de estudio hidráulico. Este trabajo solo se realizó con para el cauce del río Nus, para las demás cuencas del proyecto se utilizó la información LiDAR, la cual es suficiente para dichas modelaciones.

- Las secciones están espaciadas cada 50m aproximadamente; sin embargo, esta distancia varía, por los criterios mencionados anteriormente, es decir, para considerar en detalle los cambios geomorfológicos a lo largo del valle del río Nus; el ancho de las secciones transversales es del orden de 350°m para considerar las llanuras de inundación y las construcciones existentes.
- Adicionalmente, también se contó con secciones levantadas en las quebradas Guacas y San Antonio, para simular el comportamiento hidráulico de los tramos finales de estas quebradas hasta la confluencia de cada una de ellas con el río Nus.
- Topografía: La definición de los lechos para las quebradas San Antonio, Guacas, La Colorada, El Torito, y La palestina se realizó mediante el levantamiento topográfico tipo LIDAR.
- Visitas de campo: a partir de recorridos de campo en el tramo de estudio, se tuvieron en cuenta las características del lecho del río, el tipo de vegetación y la configuración de las márgenes y llanuras de inundación del río

B. Parámetros de modelación

Para el procesamiento de la información y para determinar los perfiles de flujo, así como los demás parámetros hidráulicos asociados a los diferentes períodos de retorno, se utilizaron tres programas de computación:

- El primero es el HEC-RAS, versión 4.1 o superior, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, (USASE, 2010) que resuelve las ecuaciones de energía y momentum, por el método estándar de pasos para determinar los perfiles de flujo.
- El segundo, también del cuerpo de ingenieros estadounidense, fue el HEC-Geo-RAS v-10 para ArcMap v.10, que usa la plataforma del sistema de información geográfica, con el fin de garantizar una máxima precisión en los datos geométricos del modelo, tanto en el trazado horizontal como en las secciones transversales, haciendo que el modelo hidráulico definitivo represente de manera más fidedigna las condiciones reales.
- El tercero, fue AutoCAD Civil 3D utilizado para la generación de las secciones de los cálculos hidráulicos de los cauces naturales de las quebradas que tendrán algún tipo de ocupación de cauce.

Con base en los resultados del modelo hidráulico, se generaron de manera más exacta las manchas de inundación a lo largo de la zona de estudio. En la Figura 2.15 se puede apreciar el procedimiento seguido.

En el Anexo Ecuaciones y método numérico HEC-RAS, se describen las ecuaciones básicas y el método numérico para su solución, que utiliza el HEC-RAS para la simulación hidráulica de corrientes.

En relación con la rugosidad del canal y de las llanuras de inundación, se siguió la metodología propuesta por el (Geolical Survey, 1973) y (Chow V. , Open-Channel Hydraulics, 1959) que tienen en cuenta que para las llanuras de inundación se pueden tener rugosidades bastante diferentes a las del canal o cauce principal de la corriente y por lo tanto deben evaluarse de manera independiente. Al igual que para el canal, para la llanura

de inundación, se establece una rugosidad base que se ajusta a través de diversos factores para obtener la rugosidad total.

Los factores que afectan la selección del coeficiente de rugosidad, n, son el tipo y tamaño de los materiales que componen el lecho y las bancas del canal, así como su forma. Para estimar el efecto de estos factores, (Cowan, 1956) propone la Ecuación 2.44 para determinar el valor de n de un canal:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

Ecuación 2.44 Cálculo de la rugosidad de Manning

Donde:

n_b: Es la rugosidad base para la sección del canal, según el material presente en el lecho del cauce.
n_1: Es el factor de corrección para el efecto de las irregularidades de la superficie.
n_2: Es el factor que tiene en cuenta las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal.
n_3: Es el factor para las obstrucciones en la sección.
n_4: Es el valor que considera la vegetación existente sobre el canal principal y las condiciones del flujo cuando estas se encuentran sumergidas debido a crecientes extremas.
m: Es la corrección por meandros en el canal principal, que depende de la relación entre la longitud total de meandros en el tramo de estudio, respecto a la longitud de tramos rectos.

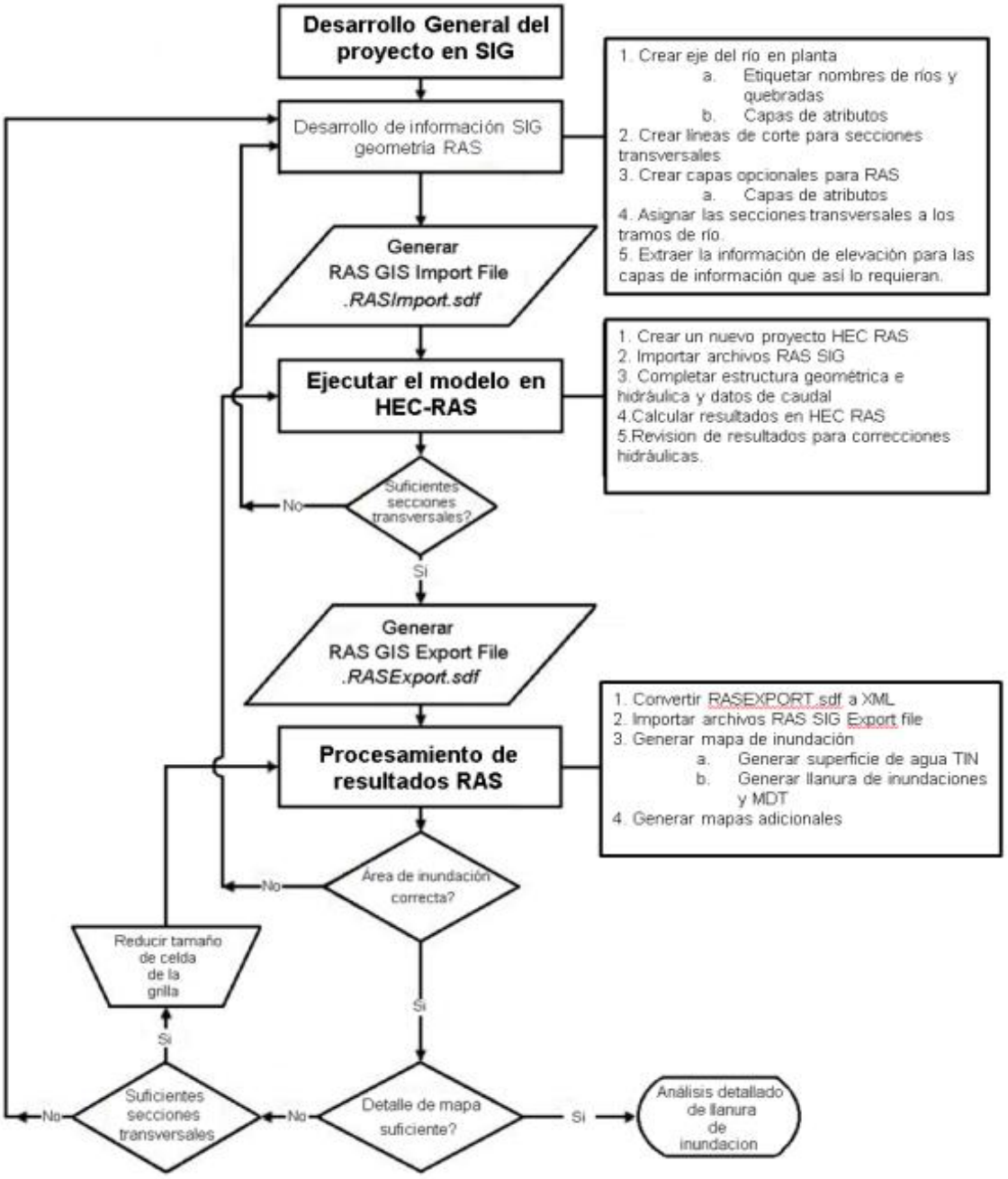


Figura 2.15 Procedimiento para la generación de las manchas de inundación

Fuente: Integral S.A., 2018

En la Tabla 2.67 se presentan valores de referencia de rugosidad base en función del material presente en el lecho.

Tabla 2.67 Valores de referencia de la rugosidad base (nb) según el material de lecho

Material del lecho	Valor de rugosidad			
Arenas	**D50 (mm)**	**Mínimo**	**Recomendado**	**Máximo**
Arena	**0,2**	**0,012**	**0,012**	**N/A**
	0,3	0,017	0,017	N/A
	0,4	0,020	0,020	N/A
	0,5	0,022	0,022	N/A
	0,6	0,023	0,023	N/A
	0,8	0,025	0,025	N/A
	1	0,026	0,026	N/A
Canales estables y llanuras de inundación				
Concreto	N/A	0,012	0,015	0,018
Corte en roca	N/A	N/A	N/A	N/A
Suelo compacto	N/A	0,025	0,029	0,032
Arena gruesa	1-2	0,026	0,031	0,035
Gravas finas	N/A	N/A	N/A	N/A
Grava	2-64	0,028	0,032	0,035
Gravas gruesas	N/A	N/A	N/A	N/A
Guijarros	64-256	0,03	0,04	0,05
Cantos rodados	>256	0,04	0,055	0,07

Fuente: Chow (1959); Aldridge y Garret (1973)

Para determinar la rugosidad base de Manning en función del diámetro característico de la gradación del material de lecho se utilizaron las siguientes expresiones.

Tabla 2.68 Ecuaciones para estimar rugosidad en función del diámetro

Ecuación	Autor
$n = \frac{D_{75}^{1/6}}{39}$	(Lane & Carlson, 1953)
$n = 0.047 * D_{90}^{1/6}$	(Garde & Raju, 1978), (Subramanya, 1982)
$n = 0.038 * D_{90}^{1/6}$	(Meyer-Peter & Müller, 1948)
$n = 0.0495 * D_{50}^{0.16}$	(Bray, 1979)
$n = 0.0488 * D_{50}^{1/6}$	(Hidrología de Antioquia, 1998)
$n = \frac{0.113 * R_H^{1/6}}{1.16 + 2 * Log\left(\frac{R_H}{D_{84}}\right)}$	(Limerinos, 1970)

Fuente: Integral S.A., 2025

Donde:

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

R_H: Radio hidráulico (m)

D_{50}: Diámetro medio de las partículas (m)

D_{75}: Diámetro 75 (m)

D_{84}: Diámetro 84 (m)

D_{90}: Diámetro 90 (m)

A continuación, se complementa la descripción de los factores de corrección definidos anteriormente para estimar el coeficiente n de rugosidad de Manning y se indican los valores sugeridos para cada uno de ellos

- N1: la corrección por irregularidades se debe tener en cuenta por la condición de bancas erosionadas que exponen aristas de material o incluso raíces de vegetación circundante. En la Tabla 2.69, se presentan los valores de este factor, en donde suave corresponde a una sección completamente estable, menor a una sección con bancas ligeramente socavadas o afectadas por procesos erosivos, moderado representa procesos de erosión lateral frecuentes en el tramo de análisis, y severo indica que la sección es completamente inestable a lo largo de todo el tramo de estudio

Tabla 2.69 Coeficiente n1 en función del grado de irregularidad de la sección

Condiciones del canal			Valor
Grado de irregularidad	n_1	Suave	0
		Menor	0,005
		Moderado	0,010
		Severo	0,020

Fuente: Modificada del U.S. (Geolical Survey, 1973)

- N2: la corrección por las variaciones de la sección en cuanto a la forma y el tamaño se debe principalmente a cambios bruscos por reducción en la capacidad hidráulica o cambios bruscos en la dirección del flujo, pero en última instancia depende de la magnitud del cambio entre secciones (Benson *et al.*, 1967). En la Tabla 2.70 se presentan los valores de este factor.

Tabla 2.70 Coeficiente n2 en función de la variación en la sección transversal del canal principal

Condiciones del canal			Valor		
			Inferior	Superior	Medio
Variación sección transversal	n_2	Gradual	0	0,05	0,025
		Ocasionalmente alternante	0,050	0,01	0,030
		Frecuentemente alternante	0,010	0,015	0,0125

Fuente: Modificada del U.S. (Geolical Survey, 1973)

- N3: mediante este factor se consideran obstrucciones en la sección como la presencia de raíces, rocas grandes, pilas, escombros e incluso patrones de flujo como cauces trenzados, los cuales incrementan la rugosidad. Los niveles de obstrucción se clasifican como despreciables, menores, apreciables o severos (Chow V. , Open-Channel Hydraulics, 1959) como se indica en la Tabla 2.71.

Tabla 2.71 Coeficiente n3 en función del grado de obstrucciones presentes en el canal principal

Condiciones del canal			Valor		
			Inferior	Superior	Medio
Efecto relativo de las obstrucciones	n_3	Insignificante	0	N/A	0
		Menor	0,01	0,015	0,013
		Apreciable	0,020	0,030	0,025
		Severo	0,040	0,060	0,050

Fuente: Modificada del U.S. (Geolical Survey, 1973)

- N4: el incremento de la rugosidad por la vegetación existente depende del porcentaje del perímetro mojado que se encuentra cubierto por la misma, de la densidad de la vegetación por encima de la línea máxima de la creciente, y de su localización con respecto al sentido del flujo. En la Tabla 2.72 se presentan los valores típico d este coeficiente.

Tabla 2.72 Coeficiente n4 en función del grado de obstrucciones presentes en el canal principal debido a la vegetación

Condiciones del canal			Valor		
			Inferior	Superior	Medio
Vegetación	n_4	Baja	0,005	0,01	0,0075
		Media	0,010	0,025	0,018
		Alta	0,025	0,050	0,038
		Muy alta	0,050	0,100	0,075

Fuente: Modificada del U.S. (Geolical Survey, 1973)

- M: la corrección por meandros es menor para el rango de 1,0 a 1,20, apreciable si está entre 1,20 y 1,50, y severa si es mayor a 1,50 (Chow V. , Open-Channel Hydraulics, 1959). En Tabla 2.73 se presentan los valores típicos para corrección del coeficiente de rugosidad por la presencia de meandros.

Tabla 2.73 Coeficiente m de corrección por meandros en el tramo de estudio

Condiciones del canal			Valor
Efecto de los meandros del cauce	m	Menor	1,0
		Apreciable	1,2
		Severo	1,5

Fuente: Modificada del U.S. (Geolical Survey, 1973)

De otro lado, la selección de los coeficientes de contracción y expansión del flujo debido a variaciones entre la geometría de dos secciones, las pérdidas locales debido a descargas o cambios de sección se determinaron mediante las cartas del USACE (U.S. Army Corps of Engineers, 1991).

En la simulación, se utilizaron “Leeves” en los puntos en donde existen controles para la inundación o zonas en donde el flujo principal se restringe, áreas de flujo inefectivo en las llanuras de inundación para simular zonas de empozamiento que se presentan cuando el flujo de las crecientes desborda sobre las mismas, así como obstrucciones para simular las construcciones localizadas sobre las llanuras.

Los perfiles de flujo se calcularon para flujo permanente gradualmente variado para las condiciones sub y súper críticas para identificar adecuadamente el tipo de régimen hidráulico, y evitar falsos forzamientos.

2.3.3.5.9 Caracterización componente Calidad del agua

A. Caracterización de agua superficial

a. Puntos de muestreo de calidad de agua

La metodología de muestreo aplicada en el monitoreo de agua superficial y sedimentos fue desarrollada por el laboratorio SGS COLOMBIA S.A.S., en el marco de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. El objetivo de estas actividades fue evaluar parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de calidad

del agua. Los monitoreos se realizaron en abril y mayo de 2025, abarcando un total de cuarenta y tres (43) puntos ubicados dentro del área de influencia. En las siguientes secciones se describen los procedimientos aplicados para la recolección, preservación y manejo de las muestras, conforme a los lineamientos internos de SGS y a los requisitos normativos vigentes, como se muestra en la Tabla 2.74.

Tabla 2.74 Puntos de muestreo efectivos de aguas superficiales y parámetros monitoreados

ID Muestra	Punto de muestreo	Nombre de la fuente	Coordenadas Magna Sirgas Origen nacional		Parámetros monitoreados	
			Norte	Este	Fisicoquímicos	Sedimentos
BO2500222.004	N04	Río Nus	2.279.685,97	4.786.457,33	X	X
BO2500008.001	N05	Río Nus	2.279.395,78	4.787.101,53	X	
BO2500074.001	N06	Río Nus	2.278.827,61	4.788.441,01	X	
BO2500074.002	N07	Río Nus	2.278.568,00	4.788.615,34	X	
BO2500083.001	N08	Río Nus	2.278.623,74	4.789.072,27	X	X
BO2500083.002	N09	Río Nus	2.278.580,73	4.789.859,29	X	X
BO2500082.001	N10	Río Nus	2.278.349,91	4.790.620,10	X	
BO2500082.002	N11	Río Nus	2.277.949,66	4.791.501,99	X	X
BO2500150.001	N12	Río Nus	2.278.046,01	4.791.975,05	X	X
BO2500150.002	N13	Río Nus	2.277.882,78	4.792.469,79	X	X
BO2500150.003	N15	Río Nus	2.277.079,24	4.794.324,72	X	
BO2500150.004	N16	Río Nus	2.276.996,64	4.794.682,11	X	X
BO2500150.005	N17	Río Nus	2.276.494,57	4.797.521,71	X	
BO2500195.003	EB02	Quebrada El Banco	2.278.790,69	4.786.725,83	X	X
BO2500195.001	EB03	Quebrada El Banco	2.279.491,16	4.786.743,63	X	
BO2500222.001	SA02	Quebrada San Antonio	2.278.219,94	4.787.545,08	X	X
BO2500195.004	SA03	Quebrada San Antonio	2.278.589,64	4.788.093,94	X	
BO2500338.002	G03	Quebrada Guacas	2.276.826,44	4.787.582,74	X	
BO2500338.004	G05	Quebrada Guacas	2.278.366,20	4.788.745,54	X	
BO2500193.002	C02	Quebrada La Colorada	2.277.772,65	4.788.946,04	X	X
BO2500437.004	B02	Quebrada El Balsal	2.277.064,78	4.788.735,87	X	

ID Muestra	Punto de muestreo	Nombre de la fuente	Coordenadas Magna Sirgas Origen nacional		Parámetros monitoreados	
			Norte	Este	Fisicoquímicos	Sedimentos
BO2500195.002	B03	Quebrada El Balsal	2.277.677,03	4.789.316,88	X	
BO2500193.001	C03	Quebrada La Colorada	2.278.518,31	4.790.059,27	X	
BO2500427.001	AN01	Afluente Nus 1	2.278.275,12	4.789.153,84	X	X
BO2500389.003	AN02	Afluente Nus 2	2.278.147,63	4.790.665,88	X	X
BO2500389.001	LM01	Quebrada La María	2.277.306,82	4.790.124,50	X	
BO2500193.003	LM02	Quebrada La María	2.277.633,27	4.790.712,09	X	
BO2500193.004	LM03	Quebrada La María	2.278.073,43	4.790.946,94	X	
BO2500166.003	AN03	Afluente Nus 3	2.277.759,99	4.791.608,79	X	X
BO2500166.004	AN04	Afluente Nus 4	2.277.600,49	4.791.771,32	X	
BO2500389.002	AN05	Afluente Nus 4	2.277.866,93	4.792.021,50	X	
BO2500363.002	AN07	Afluente Nus 5	2.277.780,82	4.792.601,41	X	
BO2500363.003	AN08	Afluente Nus 6	2.277.656,90	4.792.765,16	X	
BO2500420.002	P03	Quebrada La Palestina	2.276.793,31	4.791.127,98	X	
BO2500420.001	P04	Quebrada La Palestina	2.276.349,55	4.791.306,82	X	
BO2500283.002	P05	Quebrada La Palestina	2.276.062,74	4.791.502,93	X	
BO2500420.003	P06	Quebrada La Palestina	2.276.641,98	4.792.274,62	X	
BO2500420.004	P07	Quebrada La Palestina	2.276.667,09	4.793.299,30	X	
BO2500330.001	P08	Afluente Quebrada La Palestina 1	2.275.962,41	4.792.648,36	X	
BO2500330.002	P10	Quebrada La Palestina	2.276.883,29	4.794.392,79	X	

Fuente: SGS., 2025

El análisis de las comunidades hidrobiológicas y su correlación con las variables fisicoquímicas se presentan en la sección 2.3.4.2. Durante las campañas de monitoreo se presentaron situaciones de campo que impidieron obtener muestra en la totalidad de los puntos inicialmente programados o afectaron su representatividad. Las principales causas

fueron: (i) condiciones hidrológicas locales (puntos con lámina de agua muy somera, cauce con topografía irregular y/o ausencia de zonas de acumulación), que limitan la disponibilidad de sedimento fino y pueden generar material no representativo; (ii) lecho predominantemente rocoso o de grano grueso (arena/gravas) con escasa acumulación de finos; (iii) dificultades de acceso y condiciones de seguridad (pendientes, vegetación densa, cruces inseguros, variación del caudal en el momento del ingreso); y/o (iv) restricciones de ingreso/autorización en predios o sectores específicos. En estos casos se dejó constancia en las planillas de campo y/o registro fotográfico, y se priorizó la toma en los puntos con condiciones adecuadas para garantizar la integridad y representatividad de la muestra, considerando que el método de muestreo depende de la profundidad y de las características del sedimento. La ubicación de los puntos de muestreo no efectivos en los cuales no fue posible realizar el muestreo se presentan en la Tabla 2.75.

Tabla 2.75 Ubicación de puntos de muestreo no efectivos

Punto de muestreo no efectivo	Nombre de a fuente	Coordenada planas origen nacional	
		Norte	Este
P09	Afluente Quebrada La Palestina 2	2.276.053,86	4.793.682,70
AM01	Afluente La María 1	2.277.302,05	4.791.124,54
AN06	Afluente río Nus 5	2.277.139,70	4.792.178,16

Fuente: SGS., 2025

A continuación, se presenta la ubicación de los puntos de muestreo efectivo y no efectivos en la Figura 2.16.

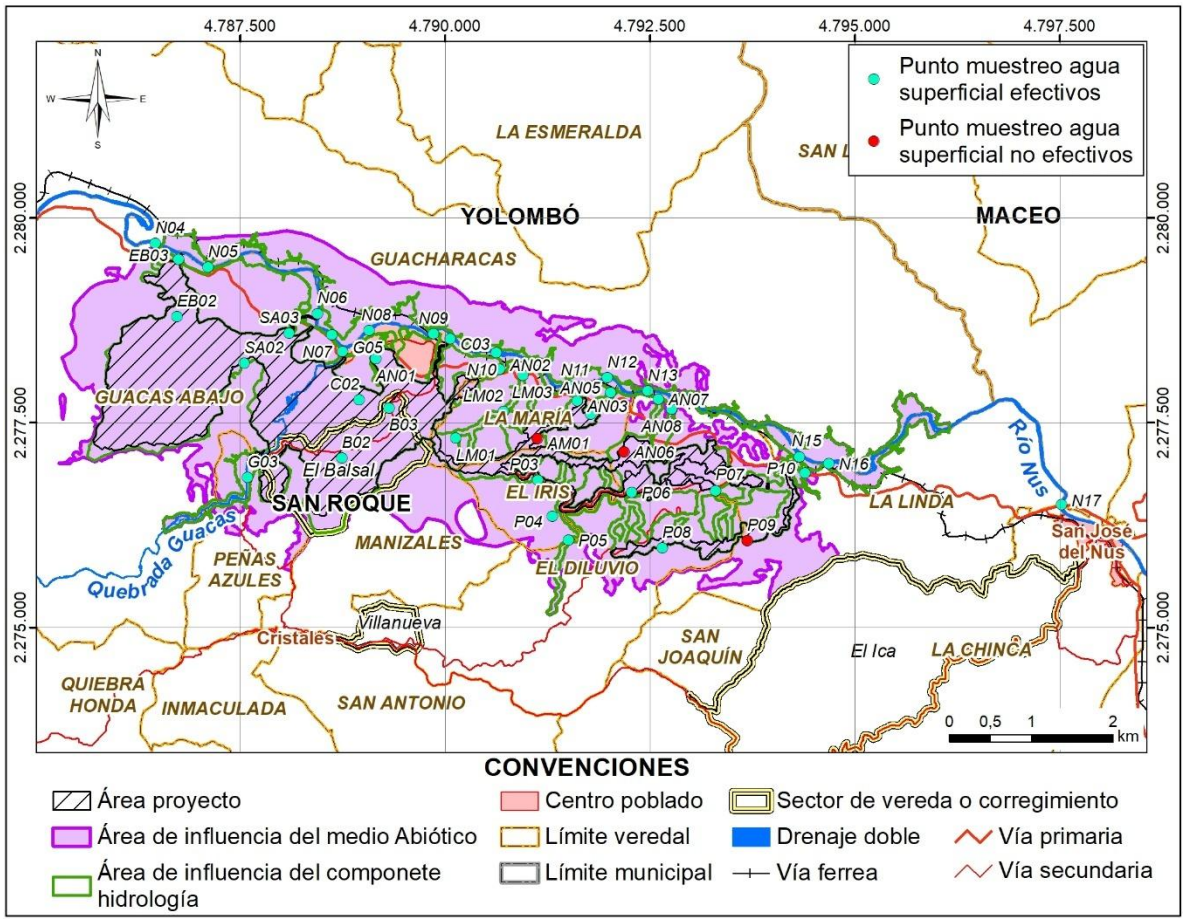


Figura 2.16 Ubicación geográfica de puntos de muestreo efectivos y no efectivos.

Fuente: SGS Colombia S.A.S. 2025

b. Metodología de Muestreo y Transporte

El propósito del muestreo es obtener, para su análisis, una porción principal del cuerpo de agua, que sea verdaderamente representativa. Los factores más críticos, para la caracterización de una muestra, son el sitio, tiempo y frecuencia de muestreo, así como el mantenimiento en la integridad de la muestra previo a su análisis.

El muestreo realizado fue de tipo manual, siguiendo las directrices establecidas en el procedimiento interno I&E-ENVI-OPE-P-02 del laboratorio de muestreo de agua de SGS Colombia S.A.S. Dicho laboratorio cuenta con acreditación del IDEAM conforme a la Resolución 0186 del 8 de marzo de 2021, cuyo alcance fue ampliado mediante la Resolución 1028 del 24 de septiembre de 2024 para la sede Bogotá y la Resolución 0522 del 4 de junio de 2024 para la sede Soledad.

El muestreo y el transporte se realizaron garantizando la integridad física, química y biológica de las muestras, aplicando métodos de preservación internacionalmente aceptados, como el control de pH, la adición de conservantes y la refrigeración a 4 °C ± 2 °C mediante el uso de hielo.

c. Tipo de muestra

Durante el presente monitoreo se recolectaron muestras de agua superficial, realizándose por medio de muestreo puntual registrándose parámetros In Situ, tales como lo son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, potencial REDOX y caudal.

Los equipos de campo que se emplearon en el presente muestreo fueron los siguientes:

- Multiparámetro
- Marca: HANNA
- Modelo: HI98494
- Número serial: M03110011111
- Número electrodo: 103150030121
- Código: EQ-EA-21

Las mediciones de campo se hicieron conforme lo establecido en los siguientes procedimientos internos de SGS, avalados por el IDEAM (véase la Tabla 2.76).

Tabla 2.76 Procedimientos Internos de SGS para Mediciones en Campo

ID Procedimiento	Descripción
I&E-ENVI-OPE-P-02	Procedimiento para toma de muestras de agua.
I&E-ENVI-OPE-P-21	Procedimiento determinación de pH y temperatura.
I&E-ENVI-OPE-P-18	Procedimiento determinación de oxígeno disuelto.
I&E-ENVI-OPE-P-17	Procedimiento determinación de conductividad.
I&E-ENVI-OPE-P-F-02-04	Medición de caudal.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

d. Metodología de Parámetros Evaluados Muestreo de Agua

La medición de los parámetros fisicoquímicos se efectuó bajo normas técnicas y métodos oficialmente aceptados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23nd Edition 2017 y la Environmental Protection Agency (EPA), en las metodologías oficialmente aceptadas y bajo los criterios establecidos por el Decreto 1076 de 2015 emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra, sus componentes y tipos de análisis a realizar. En la Tabla 2.77 se presentan los diferentes tipos de recipientes y métodos de preservación de muestras, utilizados para el análisis de los parámetros durante el presente monitoreo.

Tabla 2.77 Tipo de recipientes y preservación de muestras

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Acidez, mg/L	5,00	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2310B: Acidez - Método titulación. 23ª Edición. 2017

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Alcalinidad Total, mg/L	5,00			APHA-AWWA-WEF-SM 2320B: Alcalinidad - Método titulación. 23ª Edición. 2017
Metales, mg/L	-	Plástico, vidrio	HNO3 hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma inductivo acoplado – espectro de masas. Rev. 5.4. 1994. (EPA 200.8 modificado para Ca, Mg, K, Na, B, Sr, Fe, Li, Ti, Sn).
Aniones por cromatografía iónica, mg/L	-	Plástico, Vidrio	Refrigerar ≤ 6 °C	EPA 300.0: Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía iónica. Cincinnati-Ohio. Rev. 2.1. 1993
Coliformes Termotolerantes (Fecales), NMP/100 mL	1	Vidrio estéril o bolsas nasco whirl pak	Refrigerar a <5 °C. Debe tener espacio de aire	APHA-AWWA-WEF-SM 9223 B: Modificado Prueba de coliforme de sustrato enzimático - Prueba de sustrato enzimático. 23ª edición.2017
Coliformes Totales, NMP/100 mL				APHA-AWWA-WEF-SM 9223 B: Prueba de coliforme de sustrato enzimático - Prueba de sustrato enzimático. 23ª edición.2017
E. Coli, NMP/100 mL				
Demanda Bioquímica de Oxigeno - DBO5, mg O2/L	2,00	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C, el envase debe traer la muestra sin burbuja para el debido análisis	APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B: Bioquímica Oxígeno Demanda - Prueba 5 días de DBO. 23ª Edición. 2017 -ASTM 888-18 método C: Oxígeno disuelto por sensor basado en luminiscencia. 2018
Demanda Bioquímica de Oxigeno Soluble, mg O2/L				APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B: Bioquímica Oxígeno Demanda - Prueba 5 días de DBO. 23ª Edición. 2017 – EPA 360.3: Electrodo de membrana por oxígeno disuelto. Nombre oficial: oxígeno disuelto (electrodo de membrana). 1971.
Demanda Bioquímica de Oxigeno (20 días), mg O2/L*	1	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C, el envase debe traer la muestra sin	SM 5210 B modificado, ASTM D 888-18 C

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Demanda Bioquímica de Oxigeno Filtrada, mgO2/L*	0,1		burbuja para el debido análisis	SM 5210 B modificado, ASTM D 888-18 C
Demanda Química de Oxigeno - DQO, mg O2/L	25,00	Plástico, Vidrio	Analizar lo más pronto posible, o agregar H2SO4 hasta pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 5220 D: Demanda de oxígeno química - Reflujo cerrado, Método colorimétrico. 23ª Edición. 2017
Fósforo Total, mg P/L	0,05	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C y agregar H2SO4 hasta alcanzar un pH<2	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-P B.4, E: Fósforo - Preparación de muestras - Ácido nítrico - Digestión de ácido sulfúrico, Método de ácido ascórbico. 23ª Edición. Año 2017.
Grasas y Aceites mg/L	0,20	Vidrio (boca ancha) lavado con solvente	Acidificar a pH <2 con H2SO4 o HCl. Refrigerar a ≤ 6°C	NTC 3362 método C: Calidad del agua. determinación de aceites, grasas y sustancias solubles en solventes orgánicos - Infrarrojo de Partición. Segunda actualización. 2011- 11-30
Hidrocarburos Totales, mg/L	0,20			NTC 3362 método C, método F: Calidad del agua. determinación de aceites, grasas y sustancias solubles en solventes orgánicos – método para la determinación de hidrocarburos- Segunda actualización. 2011-11-30
Nitrógeno Amoniacal, mgN-NH3/L	1	Plástico, vidrio	Analizar lo más pronto posible, o agregar H2SO4 hasta alcanzar un pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-NH3 B, Nitrógeno (Amoniaco) – método titulación etapa destilación primaria. 23ª Edición 2017.
Nitrógeno Total Kjeldahl. mgN/L	5,00			APHA-AWWA-WEF-SM 4500- Norg B/SM 4500-NH3 B, C: Nitrógeno (Amoniaco) – destilación primaria – método paso titulación- 23ª edición.207.
Oxígeno Disuelto, mg/L	-	Análisis Inmediato	ASTM D888-12 oxígeno (disuelto) – método electrodo luminiscencia. 23ª Edición. 2017.	Oxígeno Disuelto, mg/L
pH, unidades	-		APHA-AWWA-WEF-SM 4500- H: pH Valor – método electrométrico. 23ª	pH, unidades
Temperatura, °C	-			Temperatura, °C

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
			Edición, 2017.	
Conductividad, µS/cm	-		APHA-AWWA-WEF-SM 2510B: salinidad método laboratorio. 23ª Edición. 2017.	Conductividad, µS/cm
Sólidos Disueltos, mg/L	10,0	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 C: Sólidos - secado de solidos disueltos totales a 180°C. 23ª Edición. 2017
Sólidos sedimentables, mg SS/L	0,1			APHA-AWWA-WEF-SM 2540 F: Sólidos - Sólidos sedimentables. 23ª Edición. 2017
Sólidos Suspendidos Totales, mg SST/L	4,0			APHA-AWWA-WEF-SM 2540 D: Sólidos – secado de solidos suspendidos totales a 103- 105°C. 23ª Edición. 2017
Sólidos Suspendidos Volátiles, mg/L*	5,5			SM 2540 D; SM 2540 E
Detergentes, mg SAAM/L	0,30	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 5540 C: Surfactantes - Surfactantes aniónicos como MBAS. 23ª Edición. 2017
Fenoles Totales, mg/L	0,10	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C, Agregar H_2SO_4 hasta alcanzar un pH<2	APHA-AWWA-WEF-SM 5530 B, C: Fenoles – procedimiento de limpieza – fotométrico directo (modificado). 23ª Edición. 2017
Turbiedad, NTU	1,00	Plástico, Vidrio	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	APHA-AWWA-WEF-SM 2130 b: Turbiedad-Método Nefelométrico. 23a Edición. 2017.
Cianuro Libre, mg CN/L	0,02	Plástico, Vidrio	Agregar NaOH 0,1 M hasta alcanzar un pH 11. Refrigerar a ≤ 6 °C	ASTM D7237: Cianuro libre con análisis de flujo de inyección (FIA) utilizando gas de difusión, separación y detección amperométrica.
Cianuro Total, mg CN/L	0,01	Plástico, Vidrio	Agregar NaOH 0,1 M hasta alcanzar un pH 12. Refrigerar a ≤ 6 °C	ASTM D7511-09: Cianuro total por análisis de flujo segmentado, en línea ultravioleta, digestión y detección amperométrica.
Cianuro Disponible, mg CN/L	0,02		Agregar NaOH 1M hasta alcanzar un pH>10. Refrigerar a ≤6°C	ASTM D6888-16: Cianuro disponible con desplazamiento ligado y análisis de flujo de inyección (FIA) utilizando separación por difusión de gases y detección amperométrica

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Metales Disueltos por ICP/MS	-	Plástico	Filtrar inmediatamente después del muestreo. Agregar HNO3 hasta pH<2	EPA 200.8 Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – espectrometría de masas. Rev. 5.4. 1994 (modificado para Ca, Mg, K, Na, B, Sr, Fe, Li, Ti, Sn)
Carbono Orgánico Disuelto, mg C/L	1	Vidrio	Agregar H2SO4 hasta pH<2	EPA Metodo145.1: Carbono orgánico total – combustión o oxidación. Rev.11/16/1999 (modificado)
Carbono Orgánico Particulado, (mg COP/L)	-		Refrigerar a ≤6 °C y agregar HCl, H3PO4 o H2SO4 hasta pH<2	EPA Método 415.1: Carbono orgánico total – combustión o oxidación. Rev 11/16/1999 (modificado)
Fenoles por cromatografía de gases, mg/L	-	Vidrio ambar con tapa PTFE	Refrigerar ≤4 °C agregar HCl hasta alcanzar pH<2	EPA 3510 C, embudo de depósito extracción de líquidos, Rev. 3, diciembre 1996 – EPA 8041 A: fenoles por cromatografía de gases. Rev. 1. febrero 2007
Pesticidas Organoclorados, mg/L	-	Vidrio tapón de PTFE	Refrigerar a ≤6°C	EPA 8081 B: Pesticidas organoclorados por cromatografía de gases. Rev. 2. febrero 2007
Bifenilos Policlorados, mg/L	-			EPA 3510 C, embudo de depósito extracción de líquidos, Rev. 3, diciembre 1996 – EPA 8082 A: Bifenilos policlorados (PCBs) por cromatografía de gases. Rev. 1. noviembre 2000
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, mg/L	-			EPA 3510 C, EPA 3510 C, embudo de depósito extracción de líquidos, Rev. 3, diciembre 1996 – EPA 8100 hidrocarburos aromáticos policíclicos, Rev. 0, septiembre 1986. Cromatografía de gases – detección de llama ionizada (CG-FID). (EPA 8100 modificada para 2 methylnaphthalene, 1 methylnaphtalene)
Pesticidas Organofosforados, mg/L	-	Vidrio tapón de PTFE	Refrigerar a ≤6°C	EPA 3510 C: embudo de depósito extracción de líquidos, Rev. 3, diciembre 1996 – EPA 8141 B: compuestos organofosforados por

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
				cromatografía de gases. Rev. 2. febrero 2007
Color Triestimular, m-1	-	Plástico, Vidrio	Analizar inmediatamente o almacenar por máximo 5 días en oscuridad a 4 + 2°C	ISO 787, método B: Examen y determinación de color 3ª edición, diciembre 2011.
Determinación de AOX, mg/L	0,05	Vidrio ámbar o Plástico tapa PTFE	Refrigerar a ≤ 6 °C, agregar 2 ml de HNO_3 por litro. El envase no debe presentar burbuja	ISO 9562: Determinación de compuestos orgánicos halogenados (AOX), 2004
Clorofila a,b,c, mg/m^3	-	Plástico, Vidrio	Sin preservar	APHA-AWWA-WEF-SM 10200 H 1,2, determinación espectrometríca de clorofila-23ª edición. 2017.
Dureza Total, mg $CaCO_3/L$	2,00	Plástico, Vidrio	Agregar H_2SO_4 o HNO_3 hasta alcanzar un pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2340 C: Dureza – EDTA método titulación. 23ª edición. 2017
Dureza Cálcica, $mgCaCO_3/L$				APHA-AWWA-WEF-SM 3500-Ca B: Calcio – EDTA método titulación. 23ª edición. 2017.
Silicio Total por ICP, mg/L	1,00	Plástico	Refrigerar entre 2°C y 6°C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 F 23ª edición 2017 – APHA-AWWA-WEF-SM 3120 B: metales por espectroscopia de emisión de plasma
Sílice, $mgSO_2/L$	4,28	Plástico	Refrigerar a ≤6°C	SM 45000-SiO_2 C. método molibdosilicato. 23ª edición, 2017.
Cromo Hexavalente, mg Cr^{+6}/L	0,010	Plástico	Refrigerar de 2°C - 5°C	APHA-AWWA-WEF-SM-3500-Cr: Cromo método colorimétrico. 23ª edicion.2017.
Hierro Ferroso, mg Fe/L	0,05	Vidrio ambar	Agregar 2 mL de HCL concentrado. Añadir 20 mL de solución de ortofenantrolina y 10 mL de $NH_2C_2H_3O_2$ a una porción de 50 mL de muestra acidificada. Analizar inmediatamente.	APHA-AWWA-WEF-SM-3500-Fe B: Método fenantronila. 23ª edicion.2017.
Cloro Residual, mg/L	0,23	Plástico, Vidrio	Análisis inmediato	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-Cl F: DPD método titulación ferroso. 23ª edición. 2017.
Sulfuro de Hidrogeno no Ionizado por	0,001	-	-	SM 4500 S2-H

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
cálculo, mg S2/L				
Sulfuros, mg S2/L	1,000	plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N por cada 100 mL; agregar NaOH hasta pH>9.	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-S2 C, F: Sulfuro método yodométrico. 23ª edición.2017 (modificado).
Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX), mg/L	-	Viales, tapón de PTFE	Refrigerar a ≤ 4 °C, agregar H2SO4 hasta alcanzar un pH<2	EPA 5030 C: Purga y trampa para muestras acuosas. Rev. 3. Mayo 2003/ EPA 8260 D: Compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases / espectrometría de gases (GC-MS). Rev. 4. Junio 2018.
Mercurio Orgánico, mg/L*	0,00100	Plástico, Vidrio	Acidificar con HNO3 pH<2	EPA 7471B – SM 31128

L.C.M.: Límite de cuantificación del método analítico.

-: No se presenta un valor de límite de cuantificación debido a que los metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos presentan limites diferentes.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

Los métodos de referencia, métodos analíticos, límites de cuantificación y la incertidumbre se presentan en los anexos de este informe (véase ANEXOS_CARACTERIZACION_CALIDADDEAGUA_Invierno y ANEXOS_CARACTERIZACION_CALIDADDEAGUA_Verano). Los análisis restantes se realizaron mediante proveedores externos acreditados, los cuales se relacionan en la Tabla 2.78.

Tabla 2.78 Relación de productos suministrados externamente

Parámetro	Proveedor externo	Acreditación
Demanda Bioquímica de Oxigeno 20 Demanda Bioquímica Filtrada	Anascol	Resolución No. 1675 de 2023 del IDEAM Resolución 046 de 2024 del IDEAM
Mercurio Orgánico	Chemilab	Resolución 1042 del 26 de septiembre de 2024 del IDEAM
Solidos Suspendidos Volátiles	PSL	Resoluciones 1719 y 2146 de 2022 del IDEAM
Silicio Disuelto	SGS Perú	NTP-ISO/IEC 17025:2017

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

e. Cálculo de indicadores

I. Índice de Langelier

El Índice de Langelier permite conocer la calidad del agua proporcionando información sobre el carácter incrustante o agresivo del agua y está fundamentado en el equilibrio del

anhidrido carbónico, bicarbonato – carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total en el agua (Bilanz Qualitat, 2024).

Este índice es igual a la diferencia entre el pH del agua considerada y su pH calculado:

$$IL = pH - pH_s$$

Donde:

pH es la medida del pH del agua.

pH_s es el pH de saturación en calcita o carbonato de calcio y se define como:

$$pH_s = (9{,}3 + A + B) - (C + D)$$

Donde:

$$A = \frac{(log_{10}[TDS - 1])}{10}$$

$$B = -13{,}12 * Log_{10}(°C + 273) + 34{,}55$$

$$C = Log_{10}[Ca^{2+} como\ CaCO_3] - 0{,}4$$

$$D = Log_{10}[Alcalinidad\ como\ CaCO_3]$$

Si el índice es 0: El agua está perfectamente equilibrada. No existe formación de incrustaciones ni eliminación de estas.

Si el índice es negativo: Indica que el agua es corrosiva. Agua no saturada con respecto a carbonato de calcio ($CaCO_3$). El agua no saturada tiende a eliminar las láminas de carbonato de calcio ($CaCO_3$) presentes que protegen las tuberías y equipos.

Si el índice es positivo: Indica que el agua es incrustante. Agua supersaturada con respecto a carbonato cálcico ($CaCO_3$). Posible formación de incrustaciones.

II. Índices de contaminación (ICO's)

Los criterios de la calidad del agua se refieren a las concentraciones de los constituyentes que, si no son excedidos, permitirán concluir que el ecosistema acuático es apropiado para los múltiples usos del agua. Estos se derivan de investigaciones y hechos científicos obtenidos de la experimentación o de observaciones sobre la respuesta de organismos sometidos a estímulos definidos bajo condiciones ambientales reguladas en un período de tiempo específico (Fernández, 2005).

Con el fin de establecer la calidad de las aguas superficiales, se evaluaron algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales se presentan a continuación como marco teórico. Se determinaron como criterios de calidad los Índices de Contaminación (ICO's) los cuales son usados para evaluar el impacto que sobre un cuerpo de agua superficial produce una carga contaminante mediante tratamiento matemático (Fernández, 2005).

Para el presente estudio se incluyen los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), por sólidos suspendidos (ICOSUS), por contaminación trófica (ICOTRO), por materia orgánica (ICOMO), y por pH (ICOpH) (Ramírez, 1997). En la Tabla 2.79 se presentan las variables fisicoquímicas tenidas en cuenta para el cálculo de cada uno de los índices de contaminación:

Tabla 2.79 Variables fisicoquímicas y bacteriológicas tenidas en cuenta para la determinación de los Índices de Contaminación del Agua (ICO's)

Índices	Variable	Interpretación
ICOMI	Conductividad	0 = Baja contaminación 1 = Alta contaminación
	Dureza	
	Alcalinidad	
ICOSUS	Sólidos suspendidos	0 = Baja contaminación 1 = Alta contaminación
ICOTRO	Fósforo total (mg/L). Realizado a partir de la sumatoria de fósforo inorgánico y orgánico	<0,01 = Oligotrófico >1 = Hipereutrófico
ICOMO	DBO	0 = Baja contaminación 1 = Alta contaminación
	Coliformes Totales	
	% Saturación de Oxígeno Disuelto	
ICOpH	pH	0 = Baja contaminación 1 = Alta contaminación

Fuente: Ramírez, 1997

Para calcular los diferentes índices de contaminación, se aplicaron las fórmulas que se describen a continuación:

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

$$ICOSUS = -0{,}02 + 0{,}0003 * Sólidos\ suspendidos$$

$$ICOTRO = Fósforo\ total$$

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO5} + I_{Coliformes\ T.} + I_{\%\ Saturación\ oxígeno})$$

$$ICOpH = \frac{e^{-31{,}08+3{,}45\times pH}}{1+e^{-31{,}08+3{,}45\times pH}}$$

El ICOMI involucra las variables conductividad, dureza y alcalinidad, de las cuales se refleja los sólidos disueltos, cationes calcio, magnesio y demás aniones. El ICOSUS involucra solamente la concentración de sólidos suspendidos, que hacen referencia a los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. El ICOTRO se determina con la concentración del fósforo total. El ICOMO comprende la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica. El ICOpH expresa las unidades de pH medidas en campo. Estos índices son de gran utilidad para establecer la calidad del agua de las corrientes hídricas, debido a que identifica el grado de intervención que presentan los cuerpos de agua (Fernández, 2005).

En el desarrollo del presente informe se va a emplear un código de colores, para indicar el Rango de los ICO's calculados en cada punto de muestreo.

Tabla 2.80 Valor de los Índices (ICO's)

Valor del ICO	Grado de Contaminación del Agua
0,000 – 0,200	Ninguna
>0,200 – 0,400	Bajo
>0,400 – 0,600	Medio

Valor del ICO	Grado de Contaminación del Agua
>0,600 – 0,800	Alto
>0,800 – 1,000	Muy alto

Fuente: Ramírez, 1997

III. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco (5) variables, registradas en una red de monitoreo. Este indicador permite conocer las condiciones de calidad fisicoquímica y microbiológica de un cuerpo de agua, e identifica problemas de contaminación en un punto determinado. Este es uno de los índices más usados para determinar la calidad de los cuerpos de agua superficial, a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco o seis variables, la fórmula de cálculo es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^{n} w_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA_{njt}: Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variable.

Wi: Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt}: Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicar; n es igual a 5 o 6, dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Tabla 2.81 Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD	%	0,2
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	0,2
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/L	0,2
Conductividad, CE	µS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM, 2011

En el desarrollo del presente informe se va a emplear un código de colores, para indicar los rangos del Índice de Calidad del Agua (ICA) calculado en cada punto de monitoreo.

Tabla 2.82 Valor del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Valor del Índice	Clasificación
0,91 – 1,00	Buena
0,71 – 0,90	Aceptable

Valor del Índice	Clasificación
0,51 – 0,70	Regular
0,26 – 0,50	Mala
0,00 – 0,25	Muy mala

Fuente: Fernández, 2005

B. Caracterización de sedimentos en fuentes de aguas superficiales

a. Puntos de muestreo de sedimentos

La ubicación de los puntos donde se realizó el muestreo para el monitoreo de sedimentos y su correspondiente ID de identificación se presenta en la Tabla 2.83.

Tabla 2.83 Identificación de puntos de muestreo de sedimentos

ID Muestra	Punto de muestreo	Coordenadas Planas	
		Origen nacional	
		Este	Norte
BO2500009.001	N05 Río Nus	4.787.101,53	2.279.395,78
BO2500076.001	N06 Río Nus	4.788.441,01	2.278.827,61
BO2500076.002	N07 Río Nus	4.788.615,34	2.278.568,00
BO2500081.001	N10 Río Nus	4.790.620,10	2.278.349,91
BO2500081.002	N11 Río Nus	4791501,99	2277949,66
BO2500128.001	N09 Río Nus	4.789.859,29	2.278.580,73
BO2500152.001	N16 Río Nus	4.794.682,11	2.276.996,64
BO2500196.001	EB 03 Quebrada El Banco	4.786.743,63	2.279.491,16
BO2500196.002	B03 Quebrada El Balsal	4.789.316,88	2.277.677,03
BO2500196.003	SA 03 Quebrada San Antonio	4.788.093,94	2.278.589,64
BO2500216.001	C02	4.788.946,04	2.277.772,65
BO2500216.002	LM03	4.790.946,94	2.278.073,43
BO2500337.001	G03	4.787.582,74	2.276.826,44
BO2500421.001	P06	4.792.274,62	2.276.641,98
BO2500421.002	P07	4.793.299,30	2.276.667,09

Fuente: SGS, 2025

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo y monitoreo de sedimento realizada se presenta en la Figura 2.17.

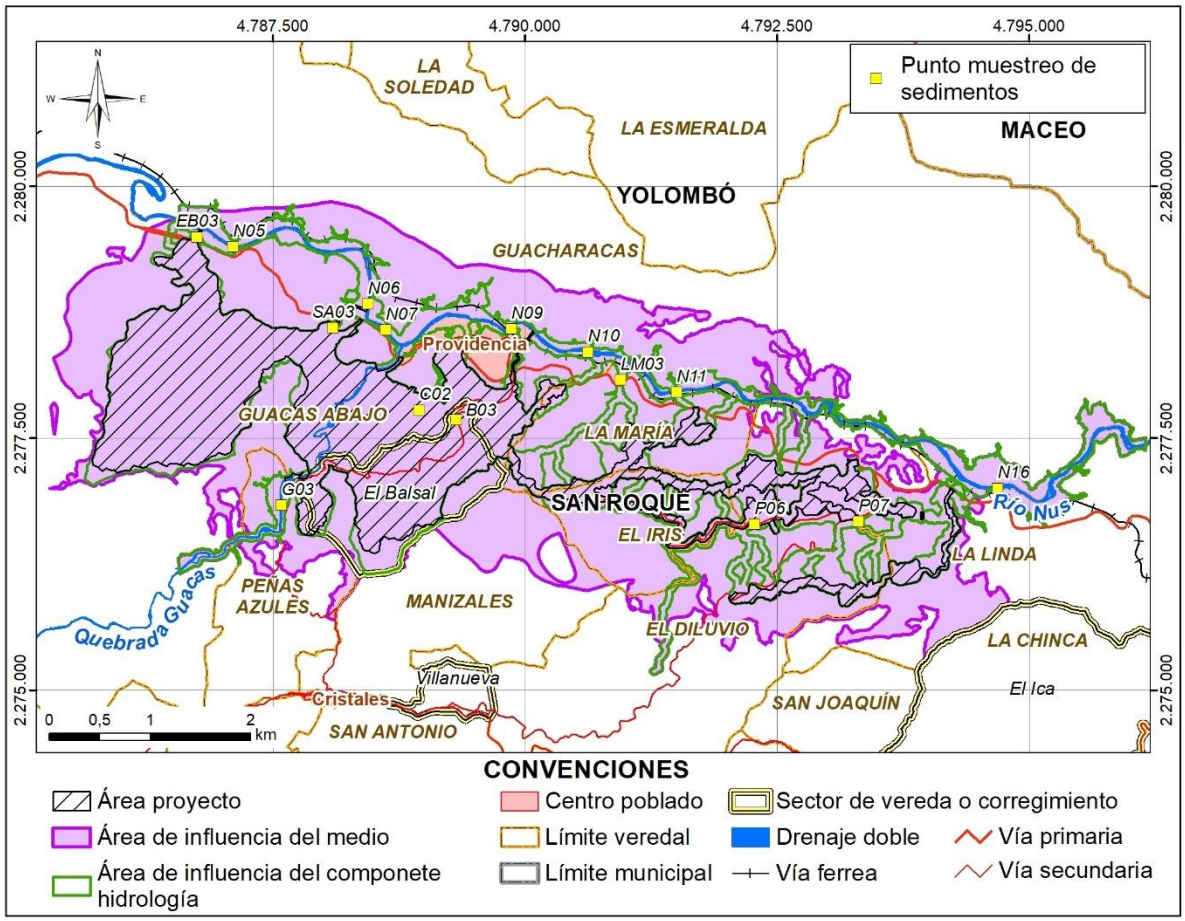


Figura 2.17 Ubicación geográfica de puntos de muestreo de sedimentos

Fuente: SGS Colombia S.A.S. (2025)

b. Metodología de Muestreo y Transporte

El muestreo adecuadamente concebido y realizado, es una tarea muy importante, debido a que constituye la herramienta básica para la veeduría y el control de su calidad, por lo cual, el propósito del presente monitoreo fue obtener, para su análisis, una porción representativa de sedimentos, teniendo en cuenta que los factores necesarios para la caracterización de una muestra son el sitio, tiempo y el mantenimiento de la integridad de la muestra previo a su análisis.

El muestreo realizado fue de tipo manual, siguiendo las directrices plasmadas en el procedimiento interno de SGS Colombia S.A.S I&E-ENVI-OPE-P-38 (SEDIMENTOS). A continuación, se cita el procedimiento para muestreo en suelos, sedimentos y otros materiales geológicos:

Algunas veces una muestra es requerida desde un área sumergida. El agua puede ser poco profunda (solo unas pocas pulgadas) o muchos pies de profundidad. Esto puede ser un cuerpo de agua estática como un estanque o un lago, o una corriente de agua como un río, un riachuelo o el mar. Los sedimentos que están por debajo del agua pueden ser recolectados directamente con el uso de un dispositivo manual como una pala o taladro, o indirectamente usando un sistema de dragado. El método usado para la recolección de las

muestras depende en la profundidad del agua a la que se encuentra el sitio de muestreo y las características físicas de sedimento que va a ser muestreado.

Las áreas poca profundas con una topografía desigual generalmente brinda material pobre para el muestreo. Las áreas profundas son áreas de acumulación típicas en donde se depositan sedimentos de grano fino que portan potencialmente contaminantes.

El área de ubicación de los puntos se puede levantar de diferentes maneras, a continuación, se mencionan los tres principios fundamentales:

- **Muestreo aleatorio:** se debe recolectar un numero de predeterminado de muestra, los diseños de muestreo aleatorios evitan sesgo en los resultados del muestreo mediante la asignación y selección aleatoria de los puntos de muestreo.
- **Muestreo en cuadricula:** en el muestreo por cuadricula, el primer punto se escoge aleatoriamente y todas las estaciones siguientes se ubican a intervalo regulares (por ejemplo, separadas 50 m) en toda el área de estudio.
- **Muestreo de gradiente:** los puntos de muestreo se deberán disponer en sectores o a lo largo de transectos seleccionados relacionados con una fuente de contaminación.

Cuando los puntos sean definidos por el cliente se tomarán donde ellos indiquen. Para estudios realizados en áreas contaminadas, se deben establecer puntos de referencia fuera del área afectada, los puntos de referencia deberán representar condiciones naturales que no tengan ninguna influencia de descarga puntual.

La selección del equipo de muestreo se deberá basar en el tipo de sedimentos y en las metas del estudio. Algunos dispositivos de muestreo son adecuados exclusivamente para material de grano fino, mientras que otros pueden alojar sedimentos menos cohesivos. El equipo se deberá limpiar entre cada cambio de punto de muestreo con la misma agua de mar o dulce.

Se utiliza para extraer la muestra una draga, pala o en ocasiones un buzo, la draga consta de dos cubetas articuladas, abierta por su parte superior y que se cierran cuando se está tomando la muestra.

La selección de envases se deberá hacer de acuerdo con los análisis, las muestras de sedimentos que se van a analizar para contaminantes orgánicos se deberían empacar en recipientes de vidrio y las muestras para análisis de metales pesados se deben empacar en recipientes plásticos, las muestras se deben empacar en bolsas plásticas por cada punto de muestreo. En el caso de compuestos orgánicos deben almacenarse en recipientes de vidrio de borosilicato con tapa de PTFE. Si se analizan compuestos volátiles, los recipientes deben minimizar el escape de gases.

El equipo de campo que se utilizó en el presente muestreo fue una draga tipo Petersen, la cual se utiliza para muestrear fondos arenosos o fangosos especialmente cuando la profundidad del agua no permite hacer colectas manuales. Se recomienda para corrientes con profundidades mayores a 3 m en corrientes lentas o fuertes (IDEAM, 2017). Permite hacer muestreos cuantitativos porque en cada arrastre se cuenta con un área de muestreo determinada por el fabricante.

La draga consiste en dos pesadas cucharas semicilíndricas provistas cada una de ellas de un brazo metálico articulado acopladas entre sí por un eje. Arriba de cada cuchara puede haber una o más ventanas cubiertas por una malla metálica fina, que permiten que el agua fluya mientras desciende la draga. Cuando la draga baja, las cucharas permanecen abiertas;

en el momento de impacto de la draga con el sustrato, los brazos se aflojan liberando las cucharas para cerrarse. El cierre se produce cuando la draga es levantada; este movimiento tira de los brazos articulados a las cucharas y las acerca (véase Figura 2.18). La draga Petersen es apropiada para obtener materiales de sustratos duros como arena, grava y arcillas. Puede penetrar de 1-2 cm^2 (draga de 0.1 m^2) a 3 cm (draga de 0.2 m^2) (Zaixso, H, 2002).

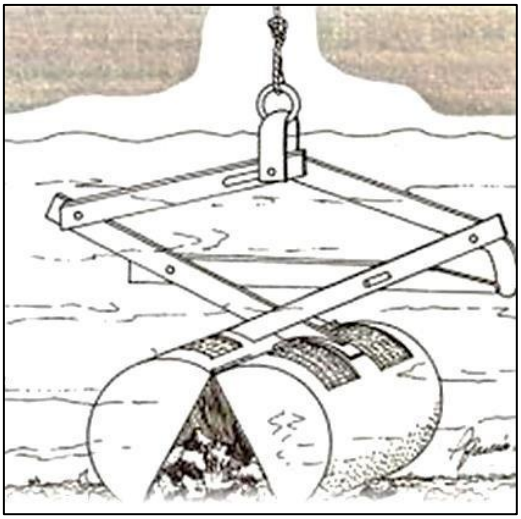


Figura 2.18 Esquema Draga tipo Petersen

Fuente: Roldan,1988

El muestreo y transporte de las muestras se realizó garantizando la integridad física, química y biológica de las muestras durante el período transcurrido entre la toma y los análisis de estas; aplicando métodos de preservación internacionalmente aceptados entre otros, aislamiento de metales, protección contra la luz directa y control de temperatura al refrigerar las muestras a 4 ºC, utilizando hielo para tal fin.

c. Metodología de parámetros evaluados

La medición de los parámetros fisicoquímicos se efectuó bajo normas técnicas y métodos oficialmente aceptados. Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra, sus componentes y tipos de análisis a realizar.

En Tabla 2.84 se presenta el recipiente y métodos de preservación de muestras, utilizados para el análisis de los parámetros durante el presente monitoreo.

Tabla 2.84 Parámetros evaluados y métodos empleados

Parámetro	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Sulfuros (mg/Kg)	4,0	Plástico o Vidrio	Refrigerar de 1°C – 5°C. Herméticamente y oscuridad	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-S2 F: Sulfuro – Método yodométrico método 23ª adición. 2017 (Modificado)

Parámetro	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Cianuro Total, mg/Kg	1,000	Plástico	Congelar a ≤ 20°C Oscuridad, hermeticidad.	ASTM D7511-09: Cianuro total mediante análisis de inyección de flujo segmentado, digestión ultravioleta en línea y detección amperométrica
Fenoles totales, mg/Kg	0,157	Plástico	Refrigerar de 1°C - 5 °C en envase hermético.	APHA-AWWA-WEF-SM 5530 B, C: Fenoles-fotométrico directo (modificado) 23ª edición. 2017
Grasas y aceites (mg/kg)	2,0000	Plástico o vidrio	Refrigerar de 1°C - 5 °C	NTC 3362 C, Modificado. Determinación de aceites y grasas por método partición infrarrojo. 2005
Hidrocarburos totales (mg/kg)	2,00	Plástico	Refrigerar de 0°C - 6°C	NTC 3362 C, F Modificado. Determinación de hidrocarburos por método partición infrarrojo. 2005
Metales, mg/Kg	-	Plástico, Vidrio	Refrigerar de 2°C - 5°C, Hermeticidad, oscuridad.	EPA 3051 Digestión ácida asistida por microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites EPA 200.8 Determinación de elementos de metales traza en aguas residuales mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente.
Mercurio Total, mg/Kg	0,15	Vidrio / PTEF		
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, mg/Kg	-	Contenedor de vidrio de boca ancha de 250 ml con tapa forrada de PTFE, cubrir con papel aluminio	Refrigerar de 0°C - 6°C. Hermeticidad, oscuridad.	EPA 3550 C, Extracción ultrasónica- EPA 8100: Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Cromatografía de gases

L.C.M.: Límite de cuantificación del método analítico.

-: No se presenta un valor de límite de cuantificación debido a que los metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos presentan limites diferentes.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

Los métodos de referencia, métodos analíticos, límites de cuantificación y la incertidumbre se presentan en los anexos de este informe. Los análisis restantes se realizaron mediante proveedores externos acreditados, los cuales se relacionan a continuación (véase ANEXOS_CARACTERIZACION_CALIDADDEAGUA_Invierno y ANEXOS_CARACTERIZACION_CALIDADDEAGUA_Verano):

Tabla 2.85 Relación de productos suministrados externamente

Parámetro	Proveedor externo	Acreditación IDEAM
BTEX, mg/Kg ss	CHEMILAB	Resolución 1042 de

Parámetro	Proveedor externo	Acreditación IDEAM
Mercurio orgánico, mg/Kg		septiembre de 2024
Haluros Orgánicos Extraíbles, mg/Kg	KEIKA	ISO/IEC 17025: 2017
Sulfatos, mg/Kg	PSL	Resolución 2146 de septiembre 2022
Cloruros, mg/Kg		
Cianuro libre, mg/Kg	SGS PERÚ	ISO/IEC 17025: 2017
Cianuro WAD, mg/Kg		
Dióxido de silicio, %	SGS BARRANQUILLA	Resolución 0522 de junio de 2024
Aluminio, mg/Kg	SERAMBIENTE	Resolución 0456 de mayo de 2024
Calcio, mg/Kg		
Hierro, mg/Kg		
Magnesio, mg/Kg		
Vanadio, mg/Kg		

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

2.3.3.5.10 Caracterización componente usos del agua

El numeral de inventario de usos y usuarios del agua desarrolla teniendo en cuenta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018) y los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de explotación minera TdR-13 (ANLA, Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera., 2016). Para ellos se realizó un inventario de usos y usuarios del agua, y con esta se procedió a realizar el cálculo de la demanda hídrica actual, la demanda hídrica potencial y el conflicto potencial, a continuación, se procede a describir estos elementos.

A. Inventario de usuarios del agua

Para identificar los usos y usuarios actuales de las fuentes superficiales susceptibles de ser afectadas por el proyecto, como primera medida se realizó la consulta ante las entidades regionales y nacionales de la existencia de instrumentos de planificación existentes en la zona de interés. Se realizó la consulta ante las autoridades ambientales como CORNARE y CORANTIOQUIA, la cual fue entregada mediante radicado CS-02552-2025 y 160AS-RES2503-929, respectivamente, así mismo se retomó información consultada a CORNARE en el 2021 mediante radicado CS-08148-2021. (véase ANEXOS_CONSULTA_ AUTORIDADES), por otro lado, se consultó información de los geovisores de CORNARE y CORANTIOQUIA, al igual que en el sistema oficial de Corantioquia - eSIRENA. Cuya información se corroboró con información existente de los usuarios presentados en el Estudio de Impacto Ambiental, 2015 y en la Modificación de Licencia del Estudio de Impacto Ambiental, 2018. Se realiza el filtro de usuarios que se encuentran dentro del área de influencia del componente hidrología, calidad del agua y usos del agua y se procede a realizar la salida de campo, en dónde se realizó la verificación y actualización de los puntos, y levantamiento de puntos nuevos de ser el caso.

El trabajo de campo se efectuó del 8 de marzo al 25 de abril de 2025, realizando un recorrido sobre las fuentes hídricas con las que interactuarían las obras objeto de modificación,

captaciones y/o vertimientos, cotejadas con la validación preliminar de usuarios en el territorio ubicados en fuentes hídricas cuya interacción con el proyecto se podrían ver afectadas. Se les realizó la encuesta a los habitantes de las captaciones identificadas en un formato de campo (véase ANEXOS_CARACTERIZACION_USOS_AGUA_Formato_Usos_Agua) en el que se colectó la ubicación en cada vivienda, vereda, uso del agua, número de personas, número de usuarios de acueducto. Además, se indagó por las fuentes donde se realizan los vertimientos. Así, se identificó a los cuerpos de agua donde se presenta mayor demanda según el número de usuarios y las actividades agropecuarias asociados a ellos.

B. Análisis de información

Una vez recolectada la información de campo se analizó la información primaria y secundaria. Se obtuvo la demanda hídrica real y potencial. Además, se identificaron los conflictos actuales y potenciales por la disponibilidad y uso del agua. A continuación, se describe la metodología para el cálculo de la demanda y conflictos por el uso del agua.

a. Demanda hídrica actual

Para la determinación de la demanda hídrica actual se realizó el cálculo para los usos y usuarios identificados en campo, en los estudios previos y los usuarios registrados en CORNARE identificados en las fuentes hídricas potenciales a ser afectadas por el proyecto con su respectiva microcuenca. Dicha información partió del área de influencia de hidrología, calidad del agua y usos y usuarios.

La demanda hídrica actual (DHA) se estimó por medio de la siguiente ecuación:

$$DHA = CD + CP + CI + CC + CA + CO$$

Donde:

CD: Consumo Doméstico

CP: Consumo Pecuario

CI: Consumo Industrial

CC: Consumo Comercial

CA: Consumo Agrícola

CO: Consumo de otros usos no relacionados.

b. Demanda hídrica potencial

La demanda hídrica potencial se calculó teniendo en cuenta la información levantada en la caracterización demográfica de la presente modificación, el plan de desarrollo del municipio. Con base en esto, se analizó el posible incremento o disminución del sector pecuario y agrícola y el efecto que esta variación tendría sobre la demanda hídrica. Así mismo, se tuvo en cuenta las actividades económicas en la zona.

c. Conflictos de uso actual del agua

Los conflictos actuales se determinaron a partir de los usos del agua imperantes en la zona de influencia del proyecto y la presión que estos usos y el respectivo número de usuarios ejercen sobre los cuerpos de agua dependiendo de su oferta hídrica.

Con base en los términos de referencia, el cálculo de conflicto actual se obtuvo teniendo en cuenta el análisis de frecuencias de caudales mínimos para diferentes periodos de retorno obtenidos a partir del estudio hidrológico, haciendo especial énfasis en los periodos de estío. A partir de los valores obtenidos se determinó que tan significativo puede ser un incremento en la cantidad del recurso utilizado por parte de los habitantes y de los sectores productivos de la zona, sobre la disponibilidad de éste.

d. Conflicto de uso potencial del agua

Para la determinación del conflicto de uso potencial se empleó la información de la caracterización demográfica de la presente modificación, este análisis se realizó teniendo en cuenta los usos potenciales y el incremento de usuarios para los diferentes sectores y la tendencia de desarrollo en la zona.

2.3.3.6 Metodología caracterización componente Hidrogeología

Para cumplir con el objetivo de conocer las condiciones hidrogeológicas existentes en el área del Proyecto de Modificación de Licencia Ambiental, se incluyen las siguientes etapas:

Recopilación y evaluación de la información existente asociada a los aspectos hidrogeológicos, con el fin de identificar las unidades hidrogeológicas con potencial acuífero.

Se planea y ejecutan campañas de campo para realizar el inventario de puntos de agua subterránea (pozos, aljibes, manantiales y piezómetros), se anexa el Formularlo Único Nacional de Inventario de Aguas Subterráneas para todos los puntos de aguas encontrados, adicional a esto se recopilan las líneas de prospección geofísica ejecutadas en otras fases del proyecto.

Se realiza la estimación de la recarga de agua subterránea, finalidad de estimar la recarga y las zonas de recarga y descarga. La recarga de agua subterránea es un insumo que se utiliza en el modelo numérico, para la estimación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos y para estimar las zonas de recarga y descarga.

Se realiza la clasificación de cuerpos de agua superficiales, se clasificarán los cuerpos de aguas superficial en virtud de su conexión hidráulica con los acuíferos y las fluctuaciones estacionales que puedan darse.

Sistemas de flujo subterráneo, a partir de la información piezométrica disponible se construyen los mapas piezométricos para las distintas unidades hidrogeológicas, con el fin de definir los sistemas de flujos locales, intermedio y regionales y poder conocer las fluctuaciones de los niveles.

Para el desarrollo del subcapítulo de la evaluación hidráulica se determina mediante la ejecución de distintas pruebas hidráulicas con la finalidad de conocer niveles, recuperación y rendimientos de las unidades hidrogeológicas identificadas.

Para la evaluación hidrogeoquímica e isotópica, se seleccionan puntos representativos para conformar una red de monitoreo que permita conocer las características hidroquímicas, de calidad de agua e isotópica, los muestreos y los análisis se realizaran en laboratorios acreditados ante IDEAM. La red de monitoreo está conformada por: manantiales, piezómetros, aljibe, lluvia y aguas superficiales.

Se efectúa un análisis para evaluar el potencial de generación de drenaje minero acido (DMA), mediante la determinación del potencial neto de neutralización (NNP), mediante el

análisis de ensayos estáticos y dinámicos en muestras representativas en suelo y rocas. Este análisis tiene la finalidad de proponer medidas de manejo específicas para la prevención, control, tratamiento y monitoreo de los DMA.

El Modelo hidrogeológico conceptual (MHC) tiene la finalidad de identificar, describir y caracterizar las unidades hidrogeológicas, con sus atributos geográficos, numéricos y descriptivos que permitan un entendimiento del comportamiento de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

La definición del MHC es la base del modelo numérico, el cual requiere que se definan los límites y fronteras que tendrá el modelo numérico de flujo de aguas subterráneas, adicional a esto se requiere conocer el secuenciamiento minero con el fin de modelar los posibles flujos entrantes al tajo. El modelo comprende modelación en régimen estacionario (con las condiciones iniciales de la explotación minera) y en régimen transitorio (simulando las condiciones de la explotación), con sus respectivas calibraciones y análisis de sensibilidad paramétrica.

2.3.3.6.1 Recopilación y análisis de la información

En esta actividad se busca la información relacionada con la geología regional, geología local, geología estructural y estudios específicos relacionados con temas de hidrogeología, entre la información disponible se desataca:

- Estimación de la recarga potencial por precipitación de la zona del proyecto Gramalote San Roque, Antioquia. (Servicios Hidrogeológicas Integrales, 2012).
- Estudio de Impacto Ambiental proyecto Gramalote. Descripción y caracterización ambiental del área de estudio. Gramalote Colombia Limited, Antioquia. (Integral S.A. 2015).
- Modificación de Licencia del Estudio de Impacto Ambiental proyecto Gramalote, (Integral S.A. 2018).
- Modelo Hidrogeológico numérico para la primera modificación del estudio de Impacto ambiental en FEFLOW. Golder 2017.
- Modelo hidrogeológico conceptual para la etapa de factibilidad. Golder 2020.
- Potencial de Drenaje Minero Acido y pruebas geoquímicas. Golder 2020.
- Monitoreo isotópico SHI S.A.S 2021.

La información obtenida es filtrada y se analiza de acuerdo con cada actividad desarrollada. De esta forma se permite interpretar mejor la geología regional para elaborar un Modelo Conceptual Hidrogeológico.

Entre las entidades consultadas se encuentran: la Gobernación de Antioquia y la Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia. Además, la Corporación Autónoma Regional de Antioquia (CORANTIOQUIA) y la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Río Negro y Nare (CORNARE). La Universidad Nacional Sede Medellín y la Universidad de Antioquia. El servicio Geológico Colombiano (SGC). El Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

2.3.3.6.2 Trabajo de campo

Inventario de puntos de agua: Se realiza con el objeto de recolectar, ordenar y analizar la información básica de las captaciones de agua subterránea. Lo anterior, para elaborar el estudio hidrogeológico. De este modo se permite evaluar la reserva del recurso subterráneo y tener una visión global de las características y conducta de las diferentes unidades geológicas potenciales acuíferos. El inventario se lleva a cabo mediante visita predio a predio, acopiando la información en el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) desarrollado por el IDEAM.

Prospección geoeléctrica puntual: se ejecutan Sondeos Eléctricos Verticales (SEV´s) para evaluar las condiciones geométricas en superficie y profundidad de los cuerpos aluviales, potencialmente acuíferos.

El método de estudio usado es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) de resistividad. Emplea el dispositivo geométrico de campo Schlumberger que consiste en la medición, desde la superficie del terreno, de la resistividad eléctrica aparente de las distintas capas geológicas del subsuelo. La medición se hace por debajo del punto sondeado (punto central de dispositivo) llamado “sondeado” por su similitud a la información que se obtendría mediante una perforación o sondeo mecánico.

La evaluación de la resistividad se realiza en la práctica, induciendo una corriente eléctrica continua (I) al terreno. Se hace mediante dos electrodos (A y B) a diferentes longitudes de separación del centro (O). Esto debido a que la profundidad de flujo (de investigación) aumenta al hacer cada vez mayor la separación de los electrodos y midiendo la diferencia de potencial (V) la cual es generada al pasar la corriente a través del subsuelo entre los electrodos M y N. (Figura 2.19).

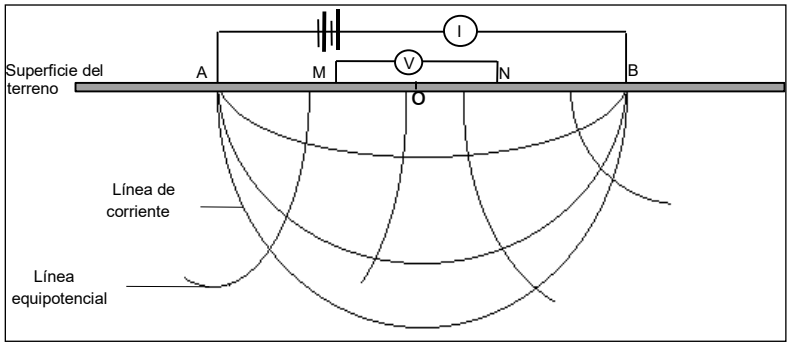


Figura 2.19 Esquema de la Configuración Electródica Tipo Schlumberger para Ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales – SEV

Fuente: (Hidrogeocol, 2012)

Las distintas resistividades específicas que se calculan corresponden a otras tantas capas geológicas. Cuya profundidad se puede determinar. Al disponer de información geológica, es posible también determinar la litología. Los datos de campo que se obtienen (resistividad aparente vs distancia AB/2). Se grafican en papel log-log, constituyendo estos gráficos las “curvas” de SEV a interpretarse.

Se denomina R a la resistencia de un conductor con sección transversal constante de longitud L. A la Sección de área se le llama S y a la resistividad R:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad ; \quad \rho = \frac{RS}{L}$$

Haciendo L= 1 m y S= 1 m^2 se obtiene la unidad de resistividad que es el Ohmio por m y por m^2, que comúnmente se expresa en ohmios-m.

La corriente I, que pasa por un cuerpo y la diferencia de potencial V que se produce, está relacionada por la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

La corriente i por unidad de área, también conocida como densidad de corriente, es igual a:

$$i = \frac{I}{A}$$

En la Tabla 2.86 se presentan los valores de resistividad típicos para algunos de los sedimentos y rocas que se encuentran más frecuentemente dentro de la corteza terrestre.

Tabla 2.86 Resistividades reales de los sedimentos y rocas

Sedimentos y rocas	Resistividad (OHM-M)
Arcilla	2 – 15
Arena seca	>1000
Arena saturada con agua dulce	20-150
Arena saturada con agua salobre	5 - 15
Arena saturada con agua salada	< 5
Grava saturada con agua dulce	50-300
Arenisca con agua dulce	30 - 50
Caliza porosa con agua dulce	< 500
Caliza compacta	> 500
Roca ígnea o metamórfica fracturada saturada con agua dulce	200 - 1000
Roca ígnea o metamórfica maciza	> 1000

Fuente: (Hidrogeocol, 2012)

Los SEV se levantan con AB/2 entre 200 y 300 m y en varias direcciones. Estos se realizaron a lo largo de zonas con topografía plana a semi-plana en los valles del Río Nus y las quebradas Guacas, San Antonio, Palestina, Topacio y Batea.

A partir de la interpretación matemática con el programa EarthImager 1D v.1.0.2 (2007) se genera para cada uno de los SEV´s, un perfil geológico-geoeléctrico. En este se correlacionan los valores obtenidos de resistividad verdadera y su variación con la profundidad. Además, con la litología de las diferentes capas de las unidades geológicas sondeadas.

Los resultados de la interpretación de los SEV´s ejecutados, permiten elaborar dos perfiles geológicos-geoeléctricos. Se empleó la herramienta Hidrogeoanalyst v.1 (2009). Se correlacionaron con la hidrogeología y el esquema estructural del área.

Para evaluar la resistividad del subsuelo, tanto en profundidad como lateralmente se mantienen constantes las separaciones del arreglo de electrodos, dispuestos

equidistantemente a lo largo del perfil de investigación. Una vez disparada la corriente desde el punto central del perfil, en cada punto de medida (electrodo) se registra el gradiente de voltaje y la corriente a una distancia conocida y a una profundidad dada desde la superficie del terreno. Este proceso lo lleva a cabo el equipo (SuperStingTM R8 IP) en forma automática. Después de procesar la información obtenida durante aproximadamente una hora, según el arreglo electródico seleccionado (Wenner, Schlumberger, o Dipolo-Dipolo).

La Ley de Ohm y el principio de continuidad para campos eléctricos estacionarios definen la ecuación diferencial que rige la distribución bidimensional del potencial en un medio heterogéneo y anisotrópico. Esta ecuación está dada como:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{\rho x}\frac{\partial V}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{\rho z}\frac{\partial V}{\partial z}\right]=-W$$

Donde V es el potencial eléctrico. W es la descarga eléctrica por unidad de área y ∂x, ∂z es el tensor de resistividad eléctrica.

Con el método de prospección geoeléctrica continua se trata de encontrar numéricamente, la solución inversa a la anterior ecuación diferencial. Dado que se conoce la respuesta del terreno (imagen de resistividad aparente medida en campo) ante los potenciales eléctricos que se inyectan a través de electrodos en las diferentes estaciones de medida tratando de establecer bajo el perfil de prospección las condiciones de resistividad real del Tensor de resistividad del subsuelo evaluado (∂x, ∂z,).

Para la realización del levantamiento geoeléctrico se utiliza el equipo de resistividad SuperSting® R8 IP con salida de ocho canales y medición continua de resistividades mediante el uso de ocho cables con 56 electrodos en total. Las líneas levantadas se presentan en el Mapa Geológico del área investigada.

Para lograr dicho objetivo, la información digital es ingresada al programa EarthImager® 2D vs. 2.2., de propiedad de AGIUSA® y debidamente licenciado para Hidrogeocol Ltda. Las bases de datos generadas del levantamiento fueron ingresadas al Sistema de Información Geográfica GIS, creada para el proyecto (ARCGIS 9.3, ESRI®, licenciado para Hidrogeocol Ltda.).

Las resistividades aparentes medidas en campo y la información topográfica a lo largo de los perfiles de prospección son los datos de entrada para el algoritmo del programa de cómputo (Earthimager 2D). Con las mediciones de campo, se obtiene una imagen del subsuelo de la distribución de los valores de resistividad aparente en el terreno. Esta imagen la elabora el programa con base en la interpolación lineal de los valores de resistividad aparente registrados en campo.

Con el fin de elegir la mejor disposición electródica que se ajuste a las condiciones topográficas del terreno y a la geología del área versus la relación de afectación por ruido se realiza varias pruebas antes de la ejecución del primer perfil. Para ello se corrieron en modo prueba los arreglos Wenner, Schlumberger. Dipolo-Dipolo y Polo-Dipolo. Se concluye que los dos primeros poseen menos afectación por ruido y por consiguiente se convierten en los de mejor resolución para las condiciones del área. Para la adquisición de la información de campo igualmente se emplea el equipo de resistividad digital de alta resolución y precisión, marca SuperStingTM R8 IP.

El proceso de interpretación es iterativo por ensayo y error. En este se busca que el modelo de interpretación matemática (modelo de resistividades reales) genere una imagen de resistividades aparentes calculadas. Similar a la obtenida en campo con RMS (Root Mean Square) equivalente a la Raíz de la sumatoria de los mínimos cuadrados. Indicando el grado de certidumbre de los resultados reportados. Se elige como valor máximo de RMS ≤10% para el post-procesamiento de acuerdo con la experiencia del consultor, a las bases teóricas y al ruido de fondo existente en el sitio de estudio.

Cuando el RMS es menor a 5%, se piensa que matemáticamente el modelo de resistividad real se aproxima con buena precisión a las condiciones de campo. En segunda instancia, se verifica que el modelo de resistividad real resultante tenga similitud con la interpretación geológica. Para lo cual se requiere conocer las condiciones y características geológicas presentes en el subsuelo. A fin de tener criterios de clasificación claros. Para seleccionar la respuesta que se aproxime con mejor detalle a las condiciones naturales presentes.

Una vez obtenida la información de campo se procede a organizar y filtrar los datos para su posterior procesamiento. De tal manera que la interpretación de los perfiles levantados en el área permita evaluar las condiciones en profundidad de las unidades geológicas presentes.

Los diferentes valores de resistividad reflejados están asociados a las diferentes gammas de colores. Son productos de las condiciones matemáticas del modelo de interpretación. Es indispensable que la información de campo sea filtrada y corroborada utilizando técnicas geoestadísticas comúnmente aceptadas como parte del QA/QC para la presentación de datos y del modelo geoeléctrico. Por último, se realiza la representación de los resultados de la interpretación de la geoeléctrica continúa en un modelado 2D y versión CAD. Además de su correlación con las condiciones geológicas interpretadas.

2.3.3.6.3 Estimación de la recarga de agua subterránea

El método desarrollado por (Kennessey, 1930) ha sido aplicado con resultados exitosos y es particularmente versátil, ya que, permite cuantificar la recarga a partir de los elementos principales que influyen en el proceso de escorrentía, como: (1) Pendiente del terreno, (2) Permeabilidad, (3) Cobertura vegetal, (4) Uso del suelo, (5) Precipitación y (6) Temperatura presente en la zona de estudio.

El método permite calcular el coeficiente de escorrentía (CK), definido como la capa de agua que fluye sobre la superficie, el cual es determinado por la suma de tres componentes: (1) Pendiente del terreno (CA), (2) Distribución de la cobertura vegetal (CV) y (3) Permeabilidad de la roca y terrenos aflorantes (CP); su estimación se realizó mediante la aplicación de la Ecuación 2.20.

$$CK = CA + CV + CP$$

Ecuación 2.45 Coeficiente de escorrentía

La clasificación de cada uno de los componentes con cada una de sus categorías se presenta en la Tabla 2.57; estos son estos son utilizados para asignar los coeficientes de acuerdo con lo propuesto por Kennessey, y parten de la estimación del Índice de Aridez (Ia) calculado para el área de estudio.

De acuerdo con lo propuesto por (Tardi & Vittorini, 1977)el índice de Aridez valorado con el Método de (De Martonne, 1926), es el parámetro en función del cual se hace la elección del coeficiente de escorrentía (CK). El índice se calculó aplicando la Ecuación 2.21.

$$Ia = \frac{\left[\frac{P}{T+10} + 12\frac{p}{t}\right]}{2}$$

Ecuación 2.46 Índice de Aridez

Donde:

Ia: Índice de Aridez medio anual.
P: precipitación media anual, en mm.
T: temperatura media anual, en °C.
p: precipitación media mensual, en mm.
t: temperatura media mensual, en °C.

Tabla 2.87 Clasificación de componentes del coeficiente de escorrentía

Índice de aridez		<25	25 - 40	>40
Pendiente (CA)				
Ca1	A > 35%	0,22	0,26	0,30
Ca2	10% < A < 35%	0,12	0,16	0,20
Ca3	3,5% < A < 10%	0,01	0,03	0,05
Ca4	A < 3,5%	-	0,01	0,03
Cobertura vegetal (CV)				
Cv1	Roca desnuda	0,26	0,28	0,30
Cv2	Pastizales	0,17	0,21	0,20
Cv3	Tierra de cultivo, bosques	0,07	0,11	0,15
Cv4	Bosque de árboles altos	0,03	0,04	0,05
Permeabilidad (CP)				
Cp1	Impermeable	0,21	0,26	0,30
Cp2	Media	0,12	0,16	0,20
Cp3	Buena	0,06	0,08	0,10
Cp4	Elevada	0,03	0,04	0,05

Fuente: (Tardi & Vittorini, 1977)

La asignación del coeficiente CA se realizó a partir de las pendientes encontradas en el área de influencia, el coeficiente CV se categorizó según el tipo de coberturas establecidos en esta metodología, por último, el coeficiente CP se valoró de acuerdo con el uso del grupo hidrológico.

Estimados cada uno de los coeficientes, se usó la Ecuación 2.20 para obtener el coeficiente CK, y luego se procedió a estimar la escorrentía superficial considerando la precipitación media a partir de la Ecuación 2.22, esta estimación se hizo a través de la herramienta "calculadora ráster" del software QGis versión 3.38.0.

$$ESC = CK \times P$$

Ecuación 2.47 Escorrentía superficial

Donde:

ESC: escorrentía superficial, en mm/año
CK: coeficiente de escorrentía
P: Precipitación media anual, en mm/año

Utilizando la misma herramienta anterior, se calculó la recarga anual en el subsuelo a través de la aplicación de la Ecuación 2.23.

$$R = P - ETR - ESC$$

Ecuación 2.48 Recarga Anual

Donde:

R: recarga anual en el subsuelo, en mm/año
P: precipitación media anual, en mm/año fue obtenida de las Isoyetas del proyecto teniendo en cuenta así la variación espacial de las lluvias.
ETR: evapotranspiración real media anual, en mm/año calculado utilizando dos formas de cálculo las ecuaciones de Cenicafe y Budyko juntas para el cálculo de la evapotranspiración potencial y luego la real, y por el método de Turc para calcular directamente la evapotranspiración real, estos dos valores de evapotranspiración real se promediaron y por medio de algebra de mapas fueron parte de la espacialización de la recarga.
ESC: escorrentía superficial o escurrimiento medio anual, en mm/año

A. Clasificación de cuerpos de agua superficiales

Se clasifican los cuerpos de agua superficial en virtud de su conexión hidráulica con los acuíferos entre aquellos que aportan a la recarga de los acuíferos y los que son alimentados por los acuíferos, así como la fluctuación estacional que puede darse en esa conexión. Esta fluctuación estacional se comprobará con el registro de los piezómetros.

Se presentan y analizan las mediciones existentes de la conductancia en el lecho de los cuerpos de agua. Se deben identificar aquellos cuerpos de agua superficial que serán potencialmente afectados por el proyecto y describir el grado de intervención o afectación esperada (perdida de caudal, agotamiento, etc.).

B. Inventario de puntos de agua

Se efectúa el inventario de puntos de agua subterránea incluyendo pozos (de captación), manantiales, aljibes y piezómetros. Para cada punto se identifica: georreferenciación, profundidad, nivel estático, unidad geológica e hidrogeológica captada, caudal de extracción, usos y usuarios del agua, y estado (en uso, inactivo, desmantelado).

Se anexa el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea FUNIAS. Con el fin de identificar aquellos puntos de agua subterránea que serán potencialmente afectados por el proyecto y describir el grado de intervención o afectación esperado (descenso del nivel piezométrico, agotamiento, etc.).

De acuerdo con el conocimiento que se tiene de la zona de estudio se diseña una red de monitoreo de aguas subterráneas que permita medir los niveles piezométricos.

En la actualidad el proyecto cuenta con piezómetros instalados, los cuales garantizan la representatividad de los niveles en el área de estudio.

C. Sistemas de flujo subterráneo

A partir de la información piezométrica se construyen los mapas piezométricos para cada unidad hidrogeológica, y se clasifican en sistemas de flujo locales, intermedios y regionales, y se representan gráficamente las respectivas zonas de recarga, tránsito y descarga.

Para la construcción de los mapas de isopiezas los puntos cumplen las siguientes condiciones:

- Conocer el acuífero captado (ubicación de filtros, diámetro, profundidad total).
- Piezómetros con nivelación altimétrica a cabeza de pozo, o a cota del terreno (m.s.n.m) que permita determinar la cota o nivel del agua subterránea.
- Los Piezómetros tiene una distribución espacial apropiada para poder correlacionar la información y construir líneas piezométricas.
- Se cuenta con condiciones técnicas en campo e instrumentos de medida adecuados (sonda de nivel, diver, etc.) para la toma de niveles.
- Se obtienen niveles estáticos (sin bombeo y sin interferencia de pozos cercanos en aprovechamiento).

D. Evaluación hidráulica

Se determinan las propiedades hidráulicas de las diferentes unidades hidrogeológicas presentes empleando los ensayos hidráulicos adecuados. Las pruebas hidráulicas son a larga duración y la interpretación de los datos debe efectuarse, sustentando y describiendo los métodos analíticos o numéricos empleados. Así mismo se aportan los datos medidos en campo durante las pruebas (tipo de ensayo, caudal y sus métodos de medida, niveles referenciados a cotas topográficas, diámetro del pozo, unidades de medida y tiempos) y su respectiva interpretación.

Se efectúan pruebas de bombeo a caudal constante y recuperación, en las cuales se garantiza que sean de larga duración (mínimo 24 horas, garantizando que la curva de abatimiento vs tiempo alcance la estabilidad). Los piezómetros que se usan cuentan con diseño del pozo bombeado (profundidad, posición de los filtros, unidad hidrogeológica captada).

Los datos son procesados e interpretados por un profesional idóneo para obtener valores representativos de la conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y la capacidad específica para cada unidad hidrogeológica.

Se efectúan mapas de las propiedades hidráulicas para cada unidad hidrogeológica y se debe analizar su isotropía.

Se clasifican las unidades hidrogeológicas en acuíferos o unidades confinantes. Se clasifican los acuíferos en libres, confinados o semiconfinados a partir de su coeficiente de almacenamiento.

2.3.3.6.4 Evaluación hidrogeoquímica e isotópica

Se determina las características hidroquímicas y de calidad del agua de cada unidad hidrogeológica del área de estudio, mediante monitoreos espacialmente representativos de pH, conductividad eléctrica, aniones y cationes (Na+, K+, Mg++, Ca++, Fe++, SO4=, Cl-, NO3-, CO3=, HCO3-), Coliformes totales y fecales, E. Coli, SDT, Eh, grasas y aceites, TPH. A partir del balance de aniones y cationes se debe presenta el valor del error analítico (%). Muestras con error analítico superior al 10% no deben ser tenidas en cuenta para ningún análisis. Adicionalmente se debe medir el contenido de metales, metaloides y demás sustancias que de acuerdo a la composición litológica de los materiales presentes puedan estar presentes en aguas subterráneas. Los laboratorios para análisis de las muestras están acreditados por el IDEAM en los parámetros a analizar.

Los resultados se consolidan en la GDB y se presenta gráficamente empleando diagramas que permiten visualizar la clasificación según el tipo de agua subterránea, se analiza también su evolución hidroquímica en el sentido del flujo subterráneo.

Posteriormente se construyen mapas de isoconcentraciones de iones, pH y conductividad eléctrica.

Se efectúa el monitoreo de Deuterio (2H), Oxígeno 18 (18O) y Tritio (3H) en agua lluvia, cuerpos de agua superficial (ríos y quebradas) y de los acuíferos en puntos representativos del área de influencia del proyecto (pozos, manantiales, aljibes y piezómetros) durante mínimo un año hidrológico. Con base en los resultados se establecen las relaciones existentes entre aguas lluvias, superficiales y subterráneas, y emplear los resultados para la identificación de las zonas de recarga, tránsito y descarga, los tiempos aproximados de tránsito, la comparación con la línea meteórica mundial y local y determinar por datación la edad promedio de la muestra.

Las condiciones de muestreo, transporte y almacenamiento de muestras siguen los protocolos de la IAEA (International Atomic Energy Agency) y su guía “Isotopos ambientales en el ciclo hidrológico Principios y aplicaciones V I.0”.

Los análisis son efectuados por laboratorios nacionales o internacionales debidamente reconocidos y acreditados.

2.3.3.6.5 Modelo hidrogeológico conceptual

Las unidades hidrogeológicas se clasifican a partir de sus atributos geológicos, hidráulicos, hidrológicos e hidroquímicos y podrán ser combinadas en unidades o capas acuíferos o capas confinantes.

Se presenta para cada unidad hidrogeológica, de manera tabulada y resumida, los atributos numéricos o descriptivos de espesor total y saturado, porosidad (valor y tipo), permeabilidad, conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica, continuidad lateral, litología, clasificación en acuíferos libres, semiconfinados, confinados o unidades confinantes, la clasificación del medio existente en poroso o fracturado.

Se realiza la caracterización de las estructuras principales encontradas en el medio fracturado incluyendo rumbos, buzamientos, apertura, frecuencia de fracturas, porosidad y conductividad hidráulica, con el fin de entender la heterogeneidad y el grado de fracturamiento de la zona.

Se presentan de manera tabulada los atributos numéricos o descriptivos representativos del área de estudio, de los cuerpos de agua superficial que incluyan caudales, lámina de agua promedio, ancho, conductancia y clasificación de acuerdo con su conexión hidráulica con las aguas subterráneas entre aquellos que aportan a la recarga de los acuíferos y los que son alimentados por los acuíferos.

Se describe de manera resumida las áreas de recarga y descarga. Se determina el tipo, cantidad y distribución de la recarga y descarga superficial y subsuperficial y se evalúa la incertidumbre asociada a los datos presentados.

Se presentan los mapas piezométricos y de direcciones de flujo actual del agua subterránea y los perfiles que identifiquen de manera representativa, los espesores y continuidad lateral de las unidades hidrogeológicas. Se presenta un bloque diagrama que represente tridimensionalmente el sistema.

A. Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

Este ítem evalúa la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación para el área de influencia del componente hidrogeológico del proyecto. Dicho análisis debe ser desarrollado empleando cualquiera de los métodos expuestos en el documento "Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación" de Minambiente. Se aplicarán las metodologías de GOD y DRASTIC.

a. Metodología GOD

La metodología GOD, es un método paramétrico propuesto por (Foster, Hirata, Gomes, D´Elia, & Paris, 2002) en donde se toman tres parámetros (Grado de confinamiento hidráulico, caracterización de la zona no saturada y profundidad del nivel freático) y se multiplican los valores asignados para cada parámetro, obteniendo el índice de vulnerabilidad GOD. Dicha metodología se caracteriza por ser sencilla y práctica, que se recomienda cuando se tiene poca información. Los tres parámetros (G, O y D) que comprende la metodología, cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, se describen a continuación (Vargas, M., 2010).

- **G (Groundwater occurrence) – Índice de confinamiento:** corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, su índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia varía entre la ausencia de acuíferos (evaluado con índice 0) y la presencia de un acuífero libre o freático (evaluado como índice 1), pasando por acuíferos artesianos, confinados y semiconfinados.
- **O (Overall aquifer class) – Sustrato litológico:** corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes, en términos de grado de consolidación y litología. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a rocas compactas fracturadas o karstificadas.
- **D (Depth) – Profundidad del nivel freático:** se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran en medios fracturados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

La vulnerabilidad se calcula como el producto de estos parámetros de la siguiente ecuación:

$$índice\ de\ vulnerabilidad\ =\ G\ *\ O\ *\ D$$

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno, entre mayor es el valor, más desfavorable es la condición, la clasificación se hace a partir de la Figura 2.20. Este método solo asigna un peso indirecto a las variables a través de sus valores.

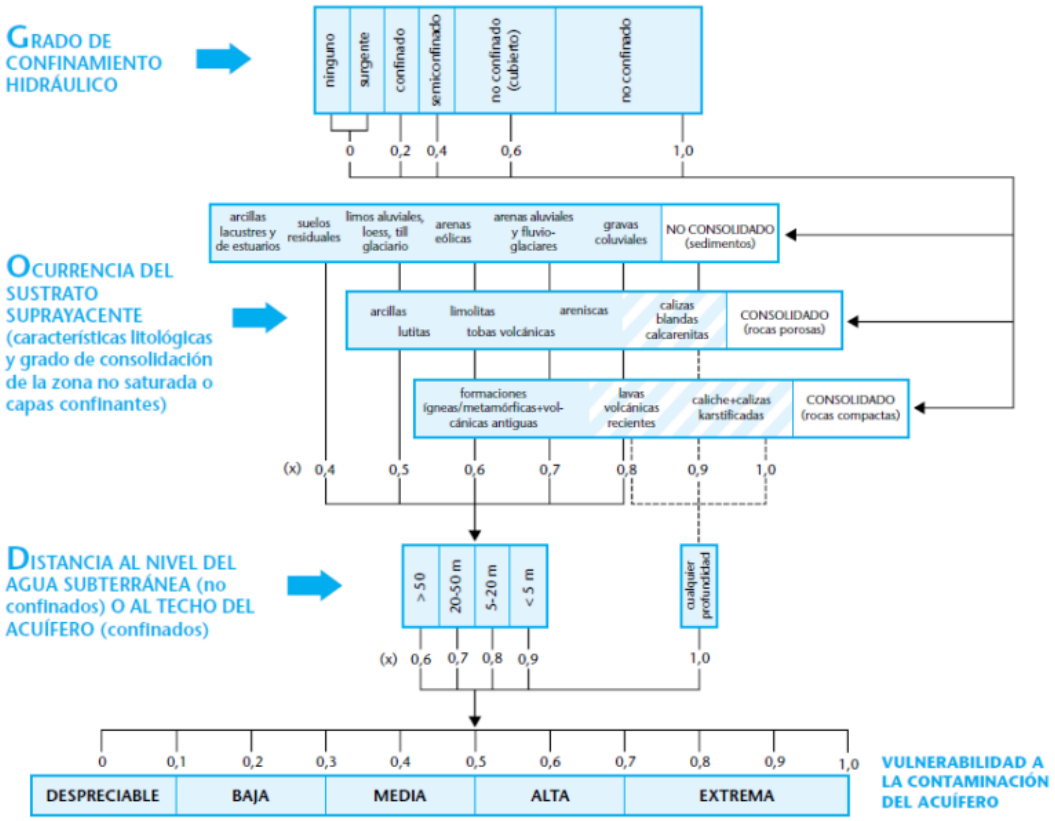


Figura 2.20 Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca

Fuente: (Foster, Hirata, Gomes, D´Elia, & Paris, 2002)

Los resultados del cálculo del índice de vulnerabilidad pueden variar entre 0 y 1, obteniendo las categorías de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, como se observa en la Tabla 2.88.

Tabla 2.88 Valoración de la vulnerabilidad con el método GOD

Grado	Vulnerabilidad
Muy bajo	0 – 0,1
Bajo	0,1 – 0,3
Moderado	0,3 – 0,5
Alto	0,5 – 0,7
Muy Alto	0,7 - 1

Fuente: (Vargas, M., 2010)

b. Metodología DRASTIC

El método DRASTIC utiliza siete parámetros para la evaluación de la vulnerabilidad, que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y el subterráneo (Vargas, M., 2010) así:

- **D** (Depth to ground water) - Profundidad del agua subterránea: indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traer consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero.

- **R** (Recharge rate) - Recarga neta: es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero y resulta de forma primaria de la escorrentía superficial y de la fracción de precipitación después de satisfacer la evapotranspiración. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes.
- **A** (Aquifer media) - Litología y estructura del medio acuífero: representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes.
- **S** (Soil media) - Tipo de suelo: representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica. En conjunto, con el parámetro A, determinan la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática.
- **T** (Topography) - Topografía: representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y subsuperficial.
- **I** (Impact on vadose zone) - Naturaleza de la zona no saturada: representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical.
- **C** (Conductivity) - Conductividad hidráulica del acuífero: determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad.

De acuerdo con las características y el comportamiento, a cada parámetro se les asignan índices que van desde 1,0 (mínima vulnerabilidad) hasta 10,0 (máxima vulnerabilidad), presentados en la Tabla 2.89:

Tabla 2.89 Valoración de parámetros para el método DRASTIC

Profundidad del nivel freático, Dr	
D (Profundidad, m)	**Rango Dr**
0 - 1,5	10
1,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
> 30,5	1

Recarga, Rr	
R (Recarga, mm)	**Rango Rr**
0 - 50	1
50 - 103	3
103 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

Medio acuífero, Ar		
A (Litología del acuífero)	**Rango Ar**	**Típico**
Lutita masiva	1 -3	2
Roca metamórfica / ígnea	2 - 5	3
Roca metamórfica / ígnea meteorizada	3 - 5	4
Arenas y gravas de origen glaciar	4 - 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 - 9	6
Arenisca masiva	4 - 9	6

Tipo de suelo, Sr	
S (Tipo de suelo)	**Rango Sr**
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3

Caliza Masiva	4 - 9	6
Arena o grava	4 - 9	8
Basaltos	2 - 10	9
Caliza cárstica	9 - 10	10

Topografía, Tr	
T (Pendiente, %)	**Rango Tr**
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

Conductividad hidráulica, Cr	
C (Conductividad hidráulica, m/día)	**Rango Cr**
0,04 - 4,08	1
4,08 - 12,22	2
12,22 - 28,55	3
28,55 - 40,75	6
40,75 - 81,49	8
>81,49	10

Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Naturaleza de la zona no saturada, Ir		
I (Tipo de Acuífero)	**Rango Ir**	**Típico**
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2 - 6	3
Lutita	2 - 5	3
Caliza	2 - 7	6
Arenisca	4 - 8	6
Secuencias de areniscas, caliza y lutita	4 - 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 - 8	6
Rocas ígneas / metamórficas	2 - 8	4
Grava y arena	6 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Caliza cárstica	8 - 10	10

Fuente: Vargas, M., (2010)

Además de la asignación de valores a cada parámetro, este método asigna un factor de ponderación a cada parámetro, que depende si el contaminante en cuestión es un pesticida (DRASTIC-P) o no (dado que los pesticidas son menos volátiles y más persistentes), con valores que están entre 1,0 y 5,0 (Tabla 2.90).

Tabla 2.90 Factores de ponderación para el método DRASTIC

Tipo de contaminante	Dw	Rw	Aw	Sw	Tw	Iw	Cw
Pesticida	5	4	3	5	3	4	2
No pesticida	5	4	3	2	1	5	3

Fuente: (Vargas, M., 2010)

El valor índice se obtiene, entonces, de la sumatoria de la multiplicación de cada parámetro por su respectivo factor de ponderación, así:

$$iV_{DRASTIC} = (D_r * D_W) + (R_r * R_W) + (A_r * A_W) + (S_r * S_W) + (T_r * T_W) + (I_r * I_W) + (C_r * C_W)$$

Ecuación 2.49 Cálculo de la vulnerabilidad. Método DRASTIC

Fuente: (Vargas, M., 2010)

Donde:

r: factor de clasificación o valoración

w: factor de ponderación

Los resultados pueden variar entre 23 (mínima) y 230 (máxima), obteniendo los rangos de vulnerabilidad de la Tabla 2.91. En la práctica este índice varía entre 50 y 200. Si se considera contaminación por pesticidas (DRASTIC-P) podrá tomar valores comprendidos entre 26 y 260.

Tabla 2.91 Grados de vulnerabilidad general del método DRASTIC

Grados de vulnerabilidad general (no pesticida)	
Grado	**Vulnerabilidad**
Muy bajo	23 - 64
Bajo	65 - 105
Moderado	106 - 146
Alto	147 - 187
Muy alto	188 - 230

Fuente: (Vargas, M., 2010)

2.3.3.6.6 Modelo numérico

A partir de la información levantada, procesada e interpretada para la construcción del MHC se definen los límites y fronteras del área de estudio para la construcción de un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas.

Se emplea un software de flujo de aguas subterráneas que simule el flujo actual y los cambios que se ocasionarán eventualmente por el proyecto minero en los niveles piezométricos (abatimientos) de las unidades hidrogeológicas identificadas en el MHC. Del mismo modo el modelo se estiman las pérdidas potenciales de caudal de los cuerpos de agua superficial presentes en el área de influencia del proyecto a causa de los abatimientos.

Para la configuración del modelo numérico se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Software:

Se emplea un software de uso exclusivo para modelación de aguas subterráneas. Se justifica la selección de los softwares empleados de conformidad con la complejidad del medio simulado.

- Código Numérico:

Se describe el código numérico empleado, se presentan las suposiciones implícitas y limitaciones de este para las simulaciones efectuadas, se describen las técnicas de solución que emplea, ecuaciones, condiciones de contorno, parámetros y variables, y cómo todos estos factores pueden afectar los resultados del modelo. Se discute la incertidumbre de los resultados.

- Dominio del modelo:

Se presenta el área de estudio del modelo numérico. El dominio o área de modelación se define y acota, por los contornos asociados a las cuencas o limites hidrogeológicos identificados en el Modelo Hidrogeológico Conceptual. Los límites del dominio activo de modelación son acordes con estas zonas y se trazan de acuerdo con el conocimiento confiable del comportamiento hidráulico del sistema, de tal forma que puedan ser representados mediante condiciones de borde (contorno) conocidas o simples de establecer (carga hidráulica, flujo o mixta). Al momento de definir dicho dominio, se

clasifican los límites con base a la siguiente distinción: Límite superior o techo, Límite inferior o basamento y Límites laterales o contactos laterales.

- Geometría y malla del modelo:

Se describen: i) los elementos geométricos que emplea la malla seleccionada, ii) el número o cantidad de celdas o elementos empleados en el modelo, iii) las dimensiones de las celdas o elementos y justificar la discretización horizontal y vertical de acuerdo con los elementos hidrogeológicos del dominio y de la geometría de la intervención minera y de las fracturas (si existen).

- Condiciones de Frontera:

Se presentan en mapa por cada capa y en modo tridimensional (3D), las condiciones de frontera establecidas en el modelo, su descripción, su justificación, clasificación (Dirichlet – Tipo I, Neumann – Tipo II, Cauchy – Tipo III) y asignación de valores numéricos o funciones matemáticas que las estimen durante los pasos de tiempo. Se representan las condiciones de frontera empleadas, sus funciones de tiempo y configuración matemática.

- Parametrización:

Se Presenta la selección de los parámetros numéricos usados en el modelo numérico tales como las propiedades hidráulicas, (transitividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, etc.), anisotropía, conductancia, coeficientes, etc. Los intervalos o valores asignados para dichos parámetros deben estar acorde con los resultados del Modelo Hidrogeológico Conceptual y datos de campo.

- Datos observados:

Las observaciones para el modelo de flujo corresponden a los niveles piezométricos reportados en cada pozo de observación. Para la construcción del modelo numérico se seleccionan aquellos pozos representativos basados en su distribución espacial, calidad y cantidad de información disponible para cada uno.

- Simulaciones / escenarios:

Se efectúan una modelación en régimen permanente (estacionario) simulando las condiciones iniciales antes de la explotación minera, esta se calibra acorde a las condiciones específicas de la zona y a la información disponible. Igualmente se hacen corridas en régimen transitorio donde se incluye el avance de la explotación minera empleando el cronograma aprobado en el Programa de Trabajos y Obras - PTO del proyecto. Para simulaciones en régimen transitorio es necesario tomar la condición inicial del régimen estacionario y especificar el respectivo período de estabilización de los niveles piezométricos a largos tiempos de simulación (años).

- Calibración:

Para la etapa de calibración se describen los algoritmos de búsqueda empleados y los análisis usados para la calibración del modelo en régimen estacionario. Se presentan los resultados respectivos comparando los valores simulados con los valores de la carga hidráulica observada a través de gráficas y se comentan los resultados. Se describen los parámetros utilizados para la calibración y los valores finales adoptados. Se deben presentar y analizar los estadísticos de calibración como el error cuadrático medio normalizado.

- Análisis de sensibilidad paramétrica:

Se presentan los objetivos del análisis de sensibilidad, se describen los procedimientos usados, los resultados del análisis y sus efectos en el modelo. El análisis se enfoca en parámetros críticos del modelo como las conductividades hidráulicas, constantes, tasas de recarga, etc.

La información cartográfica y los datos espaciales se entregan de acuerdo con los criterios incluidos en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante Resolución 1503 de 4 de agosto de 2010, modificada para el componente geográfico mediante la Resolución 1415 de 17 de agosto de 2012 de Minambiente, o aquellas normas que la modifiquen o deroguen.

La información cartográfica para el área de influencia del componente hidrogeológico se presenta a escala 1:10.000 o más detallada, localizando puntos de agua, unidades hidrogeológicas, dirección de flujo del agua subterránea y zonas de recarga y descarga.

2.3.3.7 Metodología caracterización componente Geotecnia

En este numeral se citan los términos de referencia de la ANLA para proyectos mineros, capítulo 5.1.7 Geotecnia. Se retoma textualmente los puntos aplicables para minería de cielo abierto.

Para el área en donde se implementarán las obras y actividades del proyecto se debe presentar la siguiente información:

- *Estudio de amenaza sísmica, teniendo en cuenta las normas de sismorresistencia vigentes NSR 2010 o la que las remplace o modifique. En caso de que existan estudios locales de Microzonificación Sísmica, éstos deben ser considerados en el estudio.*
- *Investigación geotécnica/minera: tendrá por objeto levantar, mediante trabajos de campo y laboratorio, la información suficiente y adecuada que permita caracterizar cuantitativamente los materiales geológicos que soportarán todas las obras del proyecto y los procesos de inestabilidad identificados en el área en donde se implementarán las obras y actividades del proyecto.*

La investigación geotécnica implicará un programa razonable de exploración directa mediante apiques, trincheras, perforaciones, etc., e indirecta, mediante sondeos geofísicos, geoeléctricos, etc., seleccionados por el responsable del estudio y adecuadamente distribuidos sobre el área de manera que permita garantizar la obtención de la información geotécnica requerida para completar el modelo o modelos geológico-geotécnicos de las diferentes zonas consideradas dentro del área de interés; se debe registrar la localización precisa con coordenadas de los puntos de muestreo.

El trabajo de campo se complementará con un programa de ensayos de laboratorio (propiedades índices y mecánicas) que permita establecer adecuadamente las características esfuerzo-deformación, resistencia u otras propiedades (tales como: permeabilidad, potencial de colapso, potencial de tubificación, etc.) de los materiales involucrados, si los mecanismos de falla identificados así lo exigen. Los parámetros obtenidos deben ser además compatibles con las exigencias de las herramientas analíticas que se empleen para evaluar cuantitativamente los procesos de inestabilidad de interés, sobre los modelos geológico-geotécnicos propuestos.

La justificación técnica y los alcances del programa exploratorio de campo y laboratorio deben ser explícitos en el informe final de resultados, adjuntando soportes de los análisis y

resultados y claridad en cuanto a los valores de los parámetros, variables y constantes con que fueron alimentados los modelos.

La Geotecnia debe evaluarse en tres vías diferentes para el proyecto minero:

(…)

2. Geotecnia para las áreas de influencia de las labores mineras a cielo abierto, incluyendo los frentes de explotación, zonas de depósitos, presas, áreas industriales, etc.

3. Geotecnia para los corredores de las vías de acceso (en superficie).

Por lo anterior, los análisis que se realicen deben contemplar lo siguiente:

(…)

2. Geotecnia áreas de influencia de las labores mineras a cielo abierto: conjugar cartográficamente las variables de geología, sísmica geomorfología, suelos de ingeniería, hidrología y meteorología, entregando como resultado la homogenización de polígonos en cuanto al grado de estabilidad de los suelos y susceptibilidad por procesos morfodinámicos e hidrodinámicos. Para el suelo de fundación de presas de relaves (en el caso de metales), el análisis debe incluir lo referente a la condición geológico estructural y la situación sísmica local e igualmente los análisis de estabilidad Global en condición estática y pseudoestática de los taludes de empotramiento de la presa.

3. Geotecnia para corredores de acceso: conjugar cartográficamente las variables de geología, sísmica geomorfología, suelos de ingeniería, hidrología y meteorología, entregando como resultado la homogenización de polígonos en cuanto al grado de estabilidad de los suelos y susceptibilidad por procesos morfodinámicos e hidrodinámicos. El análisis debe incluir los respectivos análisis de estabilidad en condición estática y pseudoestática de los taludes de corte y rellenos que se realicen en las vías a media ladera.

(…)

La evaluación de la amenaza se debe realizar para la situación actual, bajo las condiciones normales y extremas de niveles de agua y de sismo a las que podrá estar expuesta el área de estudio. La aceleración crítica para considerar en los análisis de tipo pseudoestáticas no podrá ser menor a 2/3 de la aceleración máxima (Am), debidamente justificada.

En la evaluación de la amenaza para la condición más extrema se elaborarán y presentarán mapas de amenaza en escala adecuada que permita realizar la correspondiente lectura y curvas de nivel en lo posible cada 1,0 m, clasificando el área con base en los siguientes criterios:

Tabla 2.92 Criterios de análisis para la evaluación de la amenaza sísmica

Grado de amenaza	Condiciones normales FS	Condiciones extremas (500 años) FS
Amenaza Baja	>1,9	>1,9
Amenaza Media	1,2 – 1,9	1,2 – 1,9
Amenaza Alta	<1,2	<1,0

Fuente: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2016)

La información geotécnica se debe presentar en planta y perfil en escala 1:5.000 o más detallada, considerando siempre que se debe brindar la suficiente claridad, ilustración y comprensión de las condiciones geotécnicas evaluadas.

Se debe presentar la metodología utilizada para realizar la caracterización geotécnica, incluyendo las conclusiones obtenidas a partir de los análisis geotécnicos realizados como parte de la línea base del proyecto. Las condiciones sísmicas deben estar descritas adecuadamente en particular cuando el proyecto incluya depósitos de relave (presas o embalses).

Se deben desarrollar los ítems necesarios para garantizar la estabilidad física de los taludes definitivos y depósitos o botaderos, y la estabilidad frente a la ocurrencia de procesos de remoción en masa en la etapa de cierre y rehabilitación, para lo cual se utilizarán métodos de análisis y cálculo de reconocida validez aplicables a los mecanismos de falla que han sido identificados.

Con base en lo definido a través del análisis de estabilidad geotécnica, se presentarán los diseños finales de conformación del terreno. La evaluación de la estabilidad geotécnica para la etapa de C&R minera debe incluir los siguientes escenarios:

- *Situación de cierre, bajo las condiciones normales y extremas de niveles de agua y de sismo a las que podrá estar expuesta el área de estudio. La aceleración horizontal (Ah) considerada en los análisis de tipo pseudo-estático no podrá ser menor al 50% de la aceleración máxima esperada en roca (Am = PGA), debidamente justificada. El sismo con el cual debe realizarse este análisis corresponde al Sismo de Operación con un período de retorno no menor a 50 años.*
- *Situación post-cierre, bajo condiciones normales y extremas. Se entiende por condición extrema, un fenómeno inusual que puede experimentar los taludes y laderas de la mina como lo son: (1) aumento del nivel freático y saturación de la masa de suelo por la ocurrencia de lluvias extremas o (2) sismo. No es necesario evaluar la estabilidad bajo la superposición de los dos eventos extremos anteriores. El sismo con el cual debe realizarse este análisis corresponde al Sismo Máximo de Diseño con un período de retorno no menor a 475 años.*

Adicionalmente, en el caso de taludes definitivos, se deben realizar análisis de estabilidad a escala local (a nivel de bancos entre bermas) y a escala global del talud ("overall").

Aclaraciones importantes para el caso de diseño de las obras del proyecto Gramalote respecto a las aceleraciones sísmicas de diseño:

- *Vale la pena aclarar que, en dichos términos de referencia, la ANLA emplea el término "aceleración máxima esperada en roca (Am = PGA)", utilizado de forma intercambiable con "aceleración máxima (Am)", el cual puede ser objeto de reducciones del orden de ½ (en el escenario de cierre) a 2/3 (en el escenario de poscierre) para los análisis de estabilidad.*
- *Así, los conceptos asociados al término Am de los términos de referencia de la ANLA es alternativo al indicado por la NSR-10 para la aceleración máxima que debe considerarse en los análisis de estabilidad seudoestáticos (según el Título H). En consecuencia, se verificó que las aceleraciones de diseño utilizadas en los taludes del proyecto Gramalote fueron superiores a las obtenidas conforme a la definición del Título H de la NSR-10, es decir, considerando la aceleración máxima (amáx) calculada para periodos cercanos a cero, mediante la fórmula Aa × Fa × I (donde Aa es la seudoaceleración en roca para el municipio donde se encuentra la obra, Fa el factor de amplificación e I el coeficiente de importancia, siendo este último igual a 1 para periodos de retorno de 475 años). Este valor de Aa × Fa × I luego es reducido por una fracción entre ½ a 2/3.*

- *Teniendo en cuenta que, para el municipio de San Roque, el valor de Aa es de 0,15 g según el Título A de la NSR-10, y que el tipo de suelo en el área del proyecto oscila entre tipo C y tipo D (predominando el tipo C en las zonas con grandes excavaciones), los factores Fa varían entre 1,2 y 1,5. Con base en lo anterior, los coeficientes mínimos de aceleración horizontal para el análisis seudoestático, aplicando correctamente la NSR-10 y reducidos en un 2/3 conforme a lo indicado por la ANLA, estarían en el rango de 0,12 g a 0,15 g.*
- *No obstante, con el fin de dar cumplimiento a los términos de referencia de la ANLA, se adoptó el criterio allí expuesto, según el cual Am = PGA, tomando como valor de PGA el obtenido del estudio de amenaza sísmica del proyecto. Se verificó, además, que los valores resultantes de la aplicación de dicho criterio fueran iguales o superiores al rango previamente indicado por una correcta aplicación de la NSR-10.*
- *Respecto a la Tabla 6 1 tomada de los Términos de Referencia de la ANLA, es importante manifestar que dichos factores de seguridad sólo se utilizarán para la elaboración de los mapas de amenaza. Los factores de seguridad para diseño de taludes se especifican más adelante y para el caso de los taludes (espaldones) de las presas del proyecto, los valores se definieron con base las consideraciones de la Asociación Canadiense de Presas (CDA, 2019), criterios que son más adecuados al tipo de solicitaciones bajo los cuales funciona una presa.*

2.3.3.7.1 Metodología para análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad de taludes para las obras objeto de modificación de licencia del minero Gramalote, se realiza mediante métodos de equilibrio límite utilizando el software Slide2 de Rocscience y Slope/W.

Slide2 es usado para el sedimentador La Colorada (obra multipropósito que también sirve como conexión vial), las vías, las plataformas y los depósitos de materiales sobrantes ZODME. Por otro lado, se usó SLOPE/W Versión 11.0 (GEOSLOPE, 2024) para sustentar el diseño de los depósitos estériles San Antonio y El Balzal, así como de las presas de los sedimentadores asociados.

Para ello, se seleccionaron perfiles representativos de estabilidad, según la geometría, la distribución de cortes y rellenos a lo largo de las obras, y su relevancia desde los puntos de vista geológico y geotécnico. Estas secciones se presentan en los planos geotécnicos correspondientes (ver Figura 2.21). Adicionalmente, el análisis se sustenta en exploraciones geotécnicas realizadas entre 2013 y 2025, complementadas con pruebas de laboratorio in situ, así como estudios previos.

El análisis de estabilidad de taludes considera un perfil estratigráfico caracterizado principalmente por materiales derivados del Batolito Antioqueño, claramente diferenciados en horizontes según su grado de meteorización. Estos horizontes incluyen suelo residual (Horizonte VI), saprolito (Horizonte V), transición suelo-roca (Horizonte IV), roca moderadamente meteorizada (Horizonte III) y roca poco meteorizada (Horizonte II). Adicionalmente, se identifican depósitos coluviales (Qc), depósitos de flujo (Qfl) y depósitos aluviales (Qal), así como materiales estructurales incluyendo llenos estructurales y enrocados. También se detallan las características de los depósitos de estériles. La composición y características de los materiales in-situ se establecieron mediante exploraciones geotécnicas profundas y detalladas, siendo relevantes las variaciones en granulometría, plasticidad, cohesión y ángulo de fricción presentes en estos materiales, que

influyen significativamente en el comportamiento de los taludes. El perfil estratigráfico se ha definido claramente a partir de perforaciones y pruebas in situ realizadas en las campañas mencionadas.

De acuerdo con los criterios de diseño establecidos en 2.3.3.7.2, el análisis de estabilidad considera varios escenarios. Por ejemplo, en las zonas donde se va a ejecutar cortes, se analizó inicialmente la condición del terreno natural, posteriormente las condiciones de operación y donde aplica, se incluyó los análisis para el cierre.

- **Análisis estático del terreno natural.** Aplica para las zonas donde se van a realizar cortes y se basa en evidencia geológica y geomorfológica.
- **Análisis estático con nivel freático normal:** Este escenario se evalúa bajo condiciones estáticas y es aplicable a las etapas de cierre y post-cierre.
- **Análisis estático con nivel freático extremo:** En el caso de la presa la Colorada, vías, plataformas y depósitos ZODME, el nivel freático extremo fue estimado para un período de retorno de 20 años, conforme a lo detallado en el subcapítulo “Efecto de la Precipitación sobre el Nivel Freático” de cada frente analizado en el Capítulo 5_1_7_GEOTECNIA. Este ascenso fue incorporado en la modelación mediante el desplazamiento de la interfaz que representa la tabla de agua en el escenario base. El nivel freático en su posición normal se estableció según las mediciones directas obtenidas de los piezómetros y/o perforaciones, de acuerdo con Golder Associates Colombia S.A.S. (2017), entre otras, y el programa de exploración ejecutado para todas las obras de infraestructura reportado hasta 2025. Además, se analizó el efecto de precipitaciones extremas en la mayor parte de las obras con un periodo de retorno de 20 años sobre el nivel freático, estimándose incrementos desde 2,0 a 5,0 metros sobre las condiciones promedio normales (detallados en cada caso para las obras).
- En el caso de los depósitos de estériles y sus sedimentadores asociados, para la modelación del nivel freático se tuvo en cuenta qué, de manera conservadora, durante operación, los niveles piezométricos se incrementarían y se desarrollaría un nivel freático a lo largo de la interfaz entre el material de relleno (estéril y mineral) y la fundación.
- **Análisis seudo estático con nivel freático normal y sismo de período de retorno de 50 años:** Este escenario, correspondiente a la etapa de cierre, debe cumplir con un factor de seguridad mínimo de 1,05 a 1,1 según el tipo de obra. La evaluación incluye fuerzas sísmicas asociadas a un período de retorno de 50 años.
- **Análisis seudo estático con nivel freático normal y sismo con periodo de retorno representativo de la importancia de cada obra:** Este escenario, correspondiente a la etapa de post-cierre, se evalúa de manera análoga al anterior, pero considera aceleraciones sísmicas más elevadas asociadas a periodos de retorno de 475 años o mayor, manteniendo el mismo factor de seguridad mínimo de 1,05 a 1,1.
- **Análisis seudo estático post pico.** Aplicable únicamente a los depósitos de estériles pues debido a su forma de construcción (compactación, drenaje, etapas) es importante verificar modificaciones en las resistencias ante la ocurrencia de un sismo y como esto impacta en los factores de seguridad esperados. La resistencia post-pico deberá ser objeto de monitoreo y verificación en campo, cuando se construyan tales depósitos de estériles.

En el numeral 2.3.3.7.2 se presentan los criterios de desempeño a considerar en los diferentes escenarios de análisis, incluyendo períodos de retorno, aceleraciones de diseño y factores de seguridad, así como guías de diseño adoptadas para cada caso.

Los resultados del análisis de estabilidad se organizaron por frentes de trabajo, clasificados según el tipo de obra y su ubicación dentro del área de análisis. Para cada frente u obra, se presenta un ejemplo de análisis correspondiente al perfil más crítico del talud de corte o lleno más representativo, mientras que los demás análisis para cada escenario requerido se pueden consultar en ANEXO_B de cada frente incluido en el 5_1_7_GEOTECNIA.

En los casos en que los criterios de diseño no se satisfacen únicamente con la geometría propuesta, se plantean soluciones de ingeniería para la conformación de las obras, tales como terraceos, llenos o tratamientos específicos. En general, la gran mayoría de los llenos adoptan pendientes entre 1,5H:1,0V y 2,0H:1,0V, con el fin de garantizar su estabilidad sin requerir soporte mecánico adicional en la infraestructura de vías, plataformas y ZODMES. Para los depósitos de estériles se adoptan pendientes de 1,4H:1,0V, mientras que para los sedimentadores asociados la pendiente de diseño es de 3,0H:1,0V. En los cortes predominan pendientes de diseño de 0,75H:1,0V. Cuando se requieren geometrías y tratamientos específicos para asegurar la estabilidad, estos se detallan en las tablas resumen y en los planos de diseño correspondientes a cada obra.

En las tablas resumen de los análisis de estabilidad para cada obra, realizados mediante el método de equilibrio límite, se identifica la sección evaluada y la condición de análisis según los términos de referencia. Se presentan el factor de seguridad global.

En los análisis realizados con Slide2, también se reporta la probabilidad de falla (PF) y los índices de confiabilidad (RI, por sus siglas en inglés, Reliability Index), calculados bajo supuestos de distribuciones normales y lognormales. Los anteriores datos son sólo disponibles cuando se usa Slide2, y en los casos donde la PF es muy pequeña y Slide2 la reporta como cero, se realiza un cálculo manual adicional basado en una distribución normal, donde la probabilidad de falla se estima como $P_f = 1 - \Phi(\beta)$, siendo $\Phi()$ la distribución acumulada estándar normal y β el índice de confiabilidad (RI). Además, se reporta el menor factor de seguridad local para los bancos que conforman el talud en cuestión.

Como parte de los análisis de estabilidad, se proponen tratamientos específicos para la estabilización de los taludes de corte que así lo requieren. Para facilitar la identificación de la ubicación de dichos tratamientos en taludes de corte, se presenta a continuación el siguiente esquema:

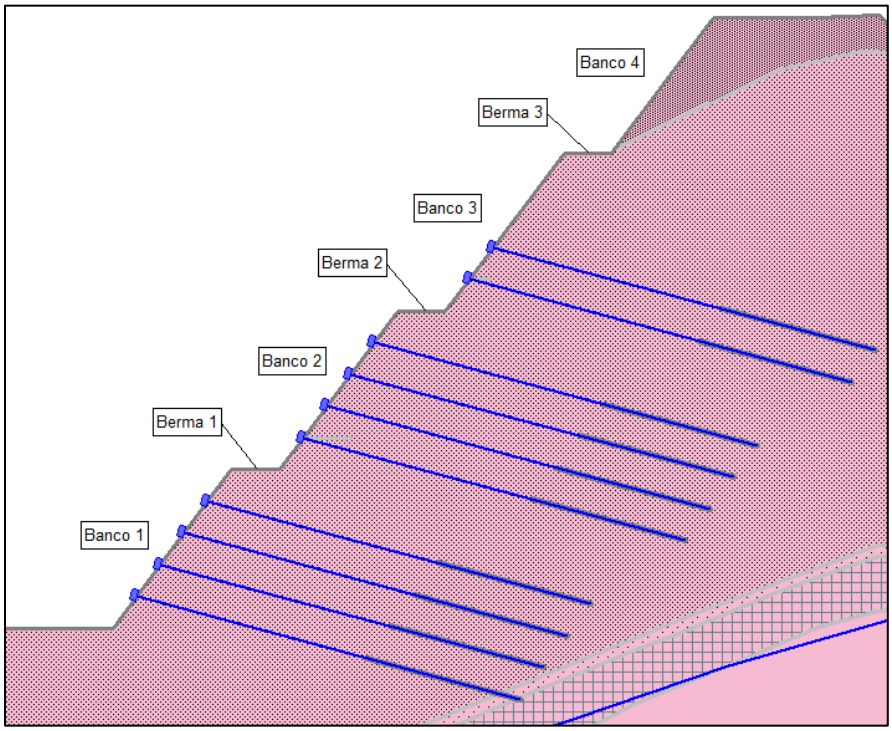


Figura 2.21 Enumeración de bancos y bermas de los taludes de corte

Nota: banco 1 es el más cercano a la rasante de la vía.

Fuente: Integral S.A., 2025

Como parte de los análisis de estabilidad ejecutados, también se presenta la evaluación del potencial de formación de cuñas en función de la orientación y la pendiente de las caras de los taludes de corte a lo largo de los alineamientos de dos vías características: la vía Minera San Antonio (Operaciones) y la vía Presa de Colas Norte.

Con base en los anterior, se utilizó el software Dips 8.0 de Rocscience para representar estereográficamente los datos de las familias de discontinuidades disponibles, los cuales se muestran en la Figura 2.22. A partir de este análisis, se identificaron también las principales familias de discontinuidades (ver Tabla 2.93).

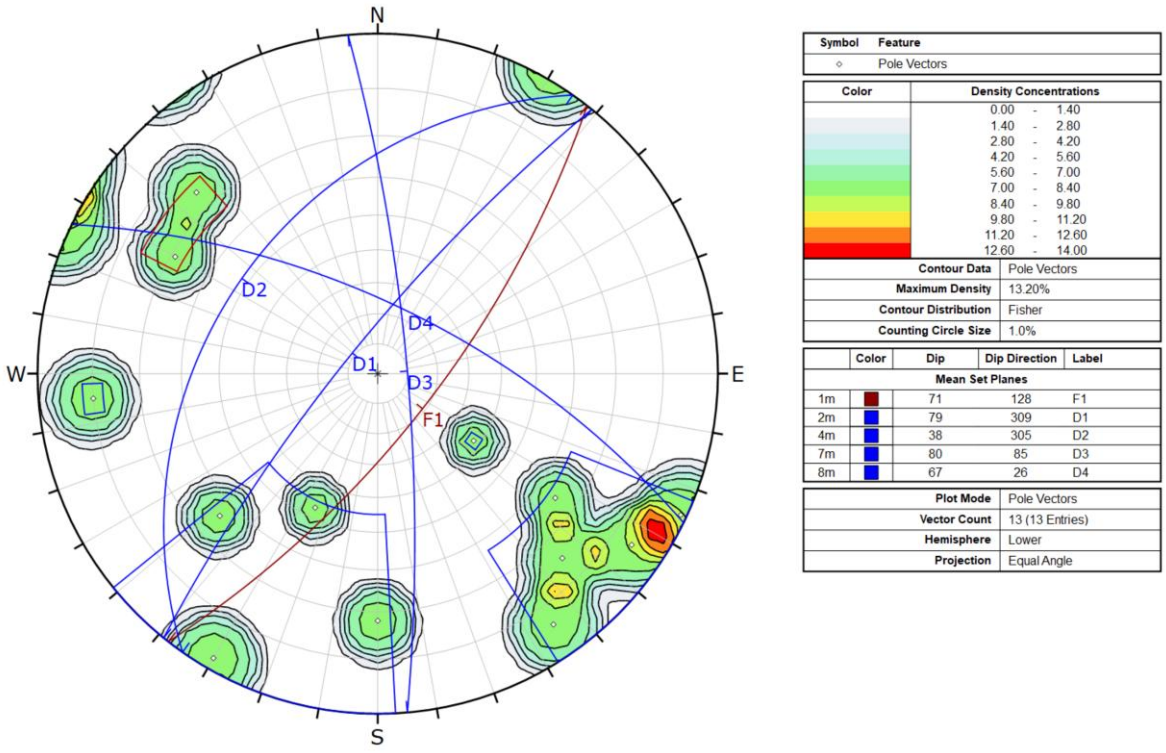


Figura 2.22 Estereograma de familias de discontinuidades

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.93 Familias de discontinuidades identificadas para los análisis de cuñas de la Vía San Antonio (Operaciones) y la vía Presa de Colas Norte

Tipo estructura	Id	Dip (°)	Dip direction (°)
Falla	F1	71	128
Diaclasa	D1	79	309
Diaclasa	D2	38	305
Diaclasa	D3	80	085
Diaclasa	D4	67	026

Fuente: Integral S.A., 2025

Con respecto a lo anterior, cabe mencionar que la información utilizada para los análisis de cuña está enmarcada para diseños de factibilidad y de acuerdo con la información disponible en esta etapa de desarrollo del proyecto. Sin embargo, esta información deberá ser verificada en los diseños definitivos de construcción, considerando la información adicional que se recopile durante el desarrollo del proyecto (labores de excavación) o con un plan de exploración complementaria. En caso de identificarse diferencias con respecto a lo proyectado en los estudios de factibilidad, estas deberán incorporarse en el diseño final de las soluciones definitivas de ingeniería.

En las obras de la presa del sedimentador La Colorada (dado que es una estructura multipropósito para conexión vial y tratamiento de aguas) se presentan análisis de esfuerzo-deformación del sistema estructura-fundación, donde se considera el escenario más desfavorable con el nivel máximo de operación. El modelo se construye por medio de fases

de construcción, disponiendo en cada fase 1,0 m de lleno. Una vez finalizado el embalse se incrementa el nivel del agua hasta alcanzar los máximos estimados. Se emplea para el suelo un modelo Mohr-Coulomb; mientras para el macizo rocoso el modelo de Hoek & Brown.

Los análisis de esfuerzo-deformación del sistema estructura-fundación se ejecutan para las siguientes condiciones en el Sedimentador La Colorada:

- Condición inicial de excavación, la proyección de la estructura de desviación y el campo de desplazamientos totales iniciales, el cual es "reiniciado", para determinar las deformaciones a partir de dicha etapa.
- Condición de avance de construcción y finalización de esta
- Condición del nivel máximo de operación del embalse, después de reiniciar el modelo al final de la etapa constructiva.
- Condición con cargas sísmicas para identificar el efecto sobre las deformaciones del cuerpo de la presa.

La conductividad hidráulica es una de las principales propiedades para estimar la magnitud de las infiltraciones a través de una estructura tipo presa y de los horizontes de meteorización de la fundación. Por lo tanto, a partir de las condiciones geológicas existentes en el área de influencia de la estructura de presa del sedimentador la Colorada, se realizó la evaluación de los caudales infiltrados en el conjunto estructura-fundación. Los valores de permeabilidad utilizados en el modelo son coherentes con el estudio hidrogeológico del proyecto.

2.3.3.7.2 Criterios de Desempeño

Para la definición de los criterios de desempeño, se definieron las metodologías y criterios de diseño aplicables al proyecto minero Gramalote. A continuación, se resumen los aspectos principales de diseño con los cuales se estructuraron los criterios de desempeño:

Aceleraciones de diseño para taludes en vías, plataformas y zodmes:

Las aceleraciones de diseño sísmico mínimas para taludes fueron definidas con base en lo requerido por la ANLA (2016), donde se establece la aceleración crítica a ser considerada en los análisis de tipo seudo estático en términos de la aceleración máxima Am. Este valor Am se define por la ANLA como igual al PGA. Adicionalmente, la misma entidad establece que se debe analizar la situación de cierre con un sismo de operación cuyo periodo de retorno no sea inferior a 50 años y tomando como mínimo el 50% de Am. Por su parte, esta también establece la necesidad de evaluar la situación de post cierre usando un Sismo Máximo de diseño con un periodo de retorno no menor a 475 años, para lo cual se ha tomado 2/3 de Am. En ambos casos, la relación entre el coeficiente de diseño sísmico vertical y horizontal, se ha tomado igual al 50%.

Las condiciones de carga anteriores se resumen a continuación:

- Tomando como base el estudio de amenaza sísmica local (WSP Golder, 2022), el PGA para 50 años es 0,04g y el PGA para 475 años es 0,238 g.
- Coeficiente de aceleración horizontal y vertical de k_h=0,16 g y k_v=0,08 g, para un sismo con periodo de retorno de 475 años.

- Coeficiente de aceleración horizontal y vertical de kh=0,02 g y kv=0,01 g, para un sismo con periodo de retorno de 50 años.

El procedimiento indicado por la ANLA para estimar las aceleraciones de diseño es alternativo a lo dispuesto por la norma NSR 10 en sus títulos A y H (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2010), sin embargo, teniendo en cuenta que las aceleraciones del estudio de amenaza sísmica particular de sitio son más conservadores que las dispuestas por la normativa colombiana, los valores estimados para el proyecto son mayores y se consideran adecuados para el análisis.[5]

Las cargas vivas vehiculares van desde 15 a 30 kPa según los vehículos de diseño que apliquen para cada caso particular.

Factores de seguridad para taludes de corte y lleno para plataformas y depósitos:

Siguiendo lo indicado en ANLA (2016), se usa como base la Tabla H.2.4-1 del Título H del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 con el fin de establecer los factores de seguridad admisible:

- Para una condición de estabilidad en condición estática, el factor seguridad deberá ser superior a 1,5.
- Para el caso pseudo estático deberá ser mínimo 1,05.

Para el caso del escenario del nivel freático extremo (incremento del nivel freático normal por ocasión de una lluvia con periodo de retorno Tr=20 años), por ser un evento de carácter temporal, se debe tener en cuenta que eventualmente la ladera natural y los taludes de excavación drenarían el exceso de agua aportado por la lluvia extrema, regresando el nivel freático a su nivel normal (promedio) si es que este existe. Con base en lo anterior, para esta condición extrema se definió un factor de seguridad mínimo de 1,2. En resumen, a continuación, se listan los criterios de desempeño adoptados en términos de factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad de taludes. En la Tabla 2.94 se resumen la condición de análisis y el factor de seguridad objetivo.

Tabla 2.94 Factores de seguridad objetivo para los análisis de estabilidad de taludes

Condición	Factor de Seguridad mínimo
Nivel freático normal	1,50
Nivel freático extremo (por ocasión de lluvia con Tr=20 años)	1,20
Nivel freático normal y sismo Tr 50 años	1,05
Nivel freático normal y sismo Tr 475	1,05

Fuente: Integral S.A., 2025

[5] Se verificó que las aceleraciones de diseño utilizadas en los taludes del proyecto Gramalote fueran superiores a las obtenidas conforme a la definición del Título H de la NSR-10, es decir, considerando la aceleración máxima (amáx) calculada para periodos cercanos a cero, mediante la fórmula Aa × Fa × I (donde Aa es la aceleración efectiva en roca, Fa el factor de amplificación y I el coeficiente de importancia, siendo este último igual a 1 para periodos de retorno de 475 años).

Teniendo en cuenta que, para el municipio de San Roque, el valor de Aa es de 0,15 g según el Título A de la NSR-10, y que el tipo de suelo en el área del proyecto oscila entre tipo C y tipo D (predominando el tipo C en las zonas con grandes excavaciones), los factores Fa varían entre 1,2 y 1,5. Con base en lo anterior, los coeficientes mínimos de aceleración horizontal para el análisis seudoestático, aplicando lo dispuesto en la NSR-10 para el amáx y reducidos en un 2/3 conforme a lo indicado por la ANLA, estarían en el rango de 0,12 g a 0,15 g.

Muros reforzados en geosintéticos:

El informe incluye recomendaciones para el muro en suelo reforzado del *Primary Crusher*, las cuales se ajustarán posteriormente para asegurar su compatibilidad estructural con la planta. Debido a la criticidad de la infraestructura, se seleccionó un sismo de diseño con un periodo de retorno de 975 años, un estándar superior al exigido por el licenciamiento ambiental y que está acorde con normativas más rigurosas como el código de Puentes de la AASTHO y su ajuste al contexto colombiano en el Código Colombiano de Puentes (INVIAS, 2015). En consecuencia, el diseño se rige por la metodología LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia), aplicando los factores de seguridad específicos para muros reforzados con geosintéticos establecidos en dicha normativa.

En relación con las aceleraciones de diseño utilizadas, éstas se resumen a continuación:

- Tomando como base el estudio de amenaza sísmica local (WSP Golder, 2022), el PGA para 975 años es 0,308 g.
- Como se verá más adelante, los perfiles de diseño sísmico en la zona de la planta son tipo C o D. Dado que en la zona del Primary crusher será removido parte del suelo residual y saprolito para conformar la plataforma, se trabajará en este sector con un perfil C. A este perfil le corresponde un coeficiente de sitio de 1,2.
- El CCP 14 establece que para muros se puede tomar un coeficiente de aceleración horizontal igual al 50% del PGA multiplicado por el factor de amplificación que en este caso se toma como
- ,2 aproximadamente.
- Con lo anterior, el coeficiente de aceleración horizontal y vertical es de k_h=0,18 g y k_v=0,09 g respectivamente, para un sismo con periodo de retorno de 975 años.

Para el muro de la trituradora primaria (Primary crusher en inglés) la sobre carga vehicular se calculó para el camión de diseño CAT 793F, considerando que la carga total de este se distribuye en el área aferente del eje trasero así:

- Ancho del eje trasero 7,61 m
- Largo del camión hasta la tolva 10,16 m
- Área carga aferente al eje trasero 77,3 m^2
- Peso Bruto Vehicular - PBV 3.785,5 kN
- Presión distribuida en el área aferente al eje trasero 50 kPa

Por lo tanto, se requiere el diseño de una losa de concreto para facilitar dicha distribución de carga, permitiendo la descarga del material hacia la trituradora primaria. En el análisis de factibilidad, se ha supuesto que esta losa tiene un espesor de 50 cm y que se extiende a lo largo de toda la longitud reforzada con geosintéticos.

Diseño de presa sedimentador La Colorada:

La presa del sedimentador La Colorada tendrá la función de retener las aguas de no contacto que han sido descargadas en su piscina de sedimentación, además de servir como conexión vial hacia la zona de plataforma principal. Sus criterios de análisis fueron definidos

a la luz de lo estipulado en guías de diseño internacional con enfoque específico para presas de minería tales como los de la Asociación Canadiense de Presas (CDA, 2019).

- Aceleraciones de diseño para la presa del sedimentador La Colorada

De acuerdo con la metodología de la Asociación Canadiense de Presas (CDA), la presa del sedimentador La Colorada se clasifica como de riesgo “Alto”. El coeficiente de aceleración sísmica horizontal (Kh) para los análisis seudoestáticos se detalla en la Tabla 2.95 siendo este igual a 2/3 del PGA para ser coherentes con la fracción propuesta por la ANLA. Además, el coeficiente de aceleración sísmica vertical (Kv) se establece considerando una relación Kv/Kh = 0,5.

Tabla 2.95 Resumen de periodos de retorno y valores de coeficiente sísmico horizontal para análisis seudo estático

Periodo de retorno	Clasificación presa CDA	PGA tomado del estudio de Amenaza	Kh= 2/3 PGA (máximo coeficiente horizontal involucrado en análisis seudo estáticos)
Presa sedimentador La Colorada: 2475 años	Alta	0,418	0,28

Fuente: Integral S.A., 2025

- Factores de seguridad para la presa del sedimentador La Colorada y escenarios de análisis

Los factores de seguridad objetivo para los análisis de estabilidad de taludes de presas, teniendo en cuenta las consideraciones de la guía de diseño canadiense CDA se presentan en la Tabla 2.96 y Tabla 2.97, los cuales consideran el funcionamiento de este tipo de estructuras y las condiciones de carga que realmente son críticas para su estabilidad:

Tabla 2.96 Factores de seguridad objetivo para la estabilidad de taludes en evaluación estática (traducción no oficial al español)

Condición de carga	Factor de seguridad mínimo	Talud
Durante o al final de la construcción	> 1,3 dependiendo de la evaluación de riesgos durante la construcción	Típicamente aguas abajo
Largo plazo (flujo estacionario, nivel normal del embalse)	1,5	Aguas abajo
Descenso del embalse rápido total o parcial	1,2 a 1,3	Talud aguas arriba donde aplique

Fuente: Traducción libre al español de (CDA, 2019)

Tabla 2.97 Factores de seguridad objetivo para la estabilidad de taludes en evaluación suedoestática (traducción libre al inglés)

Condición de carga	Factor de seguridad mínimo
Pseudo-estática	1,0
Post-sismo	1,2

Fuente: Traducción libre al español de (CDA, 2019)

Factores de seguridad para taludes de corte y lleno en vías:

La Tabla 2.98 presenta la tipología y clasificación para cada una de las vías que componen el proyecto. De esta manera, la clasificación considera cuatro categorías: Operación, Construcción, Minería y Comunidad; mientras que la tipología de vías establece las condiciones de Permanente o Temporal en función del desarrollo de infraestructura del proyecto.

Tabla 2.98 Tipología y clasificación de vías

No.	Vía	Tipo de Vía	Categoría
1	Acceso Principal	Permanente	Operación
2	Minera San Antonio	Permanente	Minera
3	Filtración	Permanente	Operación
4	Presa de Colas Sur	Temporal	Construcción
5	Decantación	Temporal	Construcción
6	Acceso Este a Estación Terminal	Permanente	Operación
7	Plataforma Ciclones	Temporal	Construcción
8	Depósito E	Permanente	Construcción
9	Depósito K	Permanente	Construcción
10	Minera ROM	Permanente	Minera
11	Acceso El Torito	Permanente	Operación
12	Presa de Colas Norte	Permanente	Operación
13	Carriles cambio de velocidad vía Acceso	Permanente	Operación
14	Sedimentador La Colorada	Permanente	Construcción
15	Sedimentador San Antonio	Permanente	Construcción
16	Sedimentador El Banco	Permanente	Construcción
17	La Bateita	Temporal	Construcción
18	Depósito El Torito	Permanente	Construcción
19	Ciclones Baja	Temporal	Construcción
20	Balsal Existente	Permanente	Construcción
21	Sustitutiva Cristales	Permanente	Comunidad
22	Cresta Sedimentador El Banco	Permanente	Construcción
23	Cresta Sedimentador San Antonio	Permanente	Construcción
24	Bocatoma	Permanente	Operación
25	Acceso Palestina	Permanente	Operación
26	Cantera	Temporal	Construcción

Fuente: Integral S.A., 2025

En función de la clasificación de las vías, se tomará como carga viva vehicular de diseño 15kPa, 20kPa y 30 kPa para vías de operación, construcción y mineras respectivamente. Lo anterior, teniendo en cuenta el vehículo de diseño para cada una de ellas.

Siguiendo lo indicado en ANLA (2016), se usa como base la Tabla H.2.4-1 del Título H del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 con el fin de establecer los factores de seguridad admisible para vías permanentes:

- Para una condición de estabilidad en condición estática, el factor seguridad deberá ser superior a 1,5.
- Para el caso pseudo estático deberá ser mínimo 1,05.

Para las vías temporales se usan los siguientes factores admisibles:

- Para una condición de estabilidad en condición estática, el factor seguridad deberá ser superior a 1,3.
- Para el caso pseudo estático deberá ser mínimo 1,05.

El análisis del terreno natural se establece bajo condiciones estáticas, con el objetivo de evaluar la estabilidad de la ladera antes de cualquier intervención. En este escenario, los factores de seguridad esperados deben ser, como mínimo, de 1,2 a 1,3 en zonas geomorfológicamente estables, o de 1,0 en sitios donde se identifiquen procesos activos de inestabilidad.

Para el caso del escenario del nivel freático extremo (incremento del nivel freático normal por ocasión de una lluvia con periodo de retorno Tr 20 años), por ser un evento de carácter temporal, se debe tener en cuenta que eventualmente la ladera natural y los taludes de excavación drenarían el exceso de agua aportado por la lluvia extrema, regresando el nivel freático a su nivel normal (promedio) si es que este existe. Con base en lo anterior, para esta condición extrema se definió un factor de seguridad minimo de 1,2.

En resumen, a continuación, se listan los criterios de desempeño adoptados en términos de factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad de taludes en función del tipo y clasificación de la vía. En la Tabla 2.99 se resumen la condición de análisis y el factor de seguridad objetivo.

Tabla 2.99 Factores de seguridad objetivo para los análisis de estabilidad de taludes en vías

Tipo de vía	Condición	F.S. Mínimo
Permanente	Terreno Natural	1,2
	Estática - Nivel freático normal	1,5
	Estática - Nivel freático extremo (por ocasión de lluvia con Tr=20 años)	1,2
	Pseudoestática - Nivel freático normal y sismo Tr 50 años	1,05
	Pseudoestática - Nivel freático normal y sismo Tr 475	1,05
Temporal	Terreno Natural	1,2
	Estática - Nivel freático normal	1,3
	Estática - Nivel freático extremo (por ocasión de lluvia con Tr=20 años)	1,2
	Pseudoestática - Nivel freático normal y sismo Tr 50 años	1,0
	Pseudoestática - Nivel freático normal y sismo Tr 475	1,0

Fuente: Integral S.A., 2025

Factores de seguridad para cimentaciones superficiales y profundas:

Para cimentaciones se usa como base la Tabla H.4.7-1 del Título H del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2010) con el fin de establecer los factores de seguridad admisible.

Las capacidades en suelo para cimentaciones superficiales se calculan por el método de Terzaghi y se aplica la teoría de Boussinesq para el control de asentamientos. Las capacidades en suelo para cimentaciones profundas, por suelo y por punta, se calculan por el método de Poulus and Davis (1980). Los asentamientos se calculan por Vesic (Das, 2011). Las capacidades por punta en macizo rocoso se calculan con base en Horvarth y Kenney (1979), método avalado en el CCP 14 (Código Colombiano de Puentes). Los anteriores métodos se presentan en el informe de criterios (Integral S.A., 2025), documento que se puede consultar en ANEXOS_CARACTERIZACION_GEOTECNIA_PROYECTO_GENERAL_ AXO_B_Criterios_geot.

A continuación, se listan los criterios de desempeño adoptados en términos de factores de seguridad mínimos para cimentaciones superficiales y profundas. En la Tabla 2.100 se resumen la condición de análisis y los factores de seguridad aplicados.

Tabla 2.100 Factores de seguridad objetivo para los análisis de fundaciones

Condición	Factor de seguridad FS
Carga Muerta+Carga Viva Normal (Servicio)	3,0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima (Resistencia)	2,5

Fuente: Integral S.A., 2025

Factores de seguridad para los depósitos de estériles y sus sedimentadores asociados:

Los criterios de análisis de estabilidad para los depósitos San Antonio y el Balzal, así como para las presas de sus sedimentadores asociados (Banco y San Antonio) fueron establecidos de acuerdo con las guías de Proyectos de Grandes Tajos Abiertos (LOP, por sus siglas en inglés) según (Hawley & Cunning, 2017) y la Asociación Canadiense de Presas (CDA, por sus siglas en ingles), la cual corresponde a la referencia (CDA, 2019). Se incluyeron criterios de diseño adicionales cuando fue apropiado, basados en juicio profesional, prácticas de ingeniería estándar y condiciones específicas del sitio, así como los objetivos operativos y parámetros requeridos por el dueño del proyecto.

La Tabla 2.101 y Tabla 2.102 resumen los factores de seguridad mínimo requeridos.

Tabla 2.101 Factores de seguridad mínimo requeridos para los depósitos San Antonio y el Balzal de acuerdo con Hawley & Cunning (2017)

Etapa	Estático	Pseudo-estático	Post-pico
Operación y cierre	1,5	1,1	1,2

Fuente: Tierra Group International, Ltd., 2025

Tabla 2.102 Factores de seguridad mínimo requeridos para las presas de los sedimentadores El Banco y San Antonio (Hawley & Cunning, 2017)

Etapa	Estático	Pseudo-estático	Post-pico
Operación y cierre	1,5	1,0	1,2

Fuente: Tierra Group International, Ltd., 2025

Los resultados de la clasificación de los depósitos de estériles usando (Hawley y Cunning, 2017) se presentan en la Tabla 2.103.

Tabla 2.103 Clasificación de los depósitos de estériles San Antonio y El Balzal

Depósito	Nivel de confianza	Consecuencia
San Antonio	Moderado	Alta
El Balzal	Moderado	Alta

Fuente: Tierra Group International, Ltd., 2025

Por otro lado, los sedimentadores del Banco y San Antonio han sido asumidos como estructuras temporales para la etapa de construcción y etapa inicial de operación. Si estas estructuras son mantenidas a largo plazo, la clasificación por consecuencias deberá ser evaluada siguiendo los lineamientos recomendados por el CDA, incluido modos de falla, rompimiento de presa e inundación.

El sismo de diseño se tomó con base en la importancia de la obra y con base en los periodos de retorno que son representativos de su clasificación. Los PGA asociados a cada periodo de retorno han sido definidos por (Golder Associates USA Inc, 2022) quien realizó una evaluación de peligro sísmico específica del sitio (SHA por sus siglas en ingles) para el proyecto Gramalote en el área del TSF en el año 2022. El SHA se basó en enfoques probabilísticos y determinísticos de peligro sísmico estimar valores de aceleración máxima del suelo (PGA). La Tabla 2.104 resume las PGA asociadas con una probabilidad del 10% de superación en un tiempo de 50 años (lo cual corresponde a un periodo de retorno de terremoto de 475 años) y la PGA media asociada con el Terremoto Máximo Creíble (MCE por sus siglas en ingles).

Tabla 2.104 Clasificación de los depósitos de estériles San Antonio y El Balzal

Metodología	Evento sísmico	Periodo de retorno	PGA (g)
Probabilístico	NA (1)	475	0,238
Determinístico	MCE	NA (1)	0,370

Notas: NA (1) = No aplica

Fuente: Tierra Group International, Ltd., 2025

En consecuencia, debido a que el Depósito San Antonio es una estructura diseñada a largo plazo, se realizaron análisis pseudo-estáticos bajo condiciones de carga sísmica utilizando coeficientes de carga horizontal iguales a la mitad del PGA asociado con un evento máximo sísmico creíble (MCE por sus siglas en ingles). Las propiedades de resistencia de los materiales para los suelos de la fundación (suelo residual y saprolito) se redujeron en un 20% para los análisis pseudo-estáticos (Hynes-Griffin & Franklin, 1984).

Además, el Depósito El Balzal y las Presas de los Sedimentadores El Banco y San Antonio, fueron consideradas estructuras temporales. Por esta razón, se realizaron análisis pseudo-estáticos bajo condiciones de carga sísmica utilizando coeficientes de carga horizontal iguales a la mitad de la aceleración pico del terreno (PGA por sus siglas en ingles) para un evento sísmico con un periodo de retorno de 475 años. Las propiedades de resistencia de los materiales para los suelos de la fundación se redujeron en un 20% para los análisis pseudo-estáticos (Hynes-Griffin & Franklin, 1984).

También, se realizó un análisis de sensibilidad para el modelamiento post-pico de todas las instalaciones propuestas asumiendo de manera conservadora que los suelos de la fundación (aluvión (aluvial), suelo residual y saprolito) son potencialmente susceptibles a licuefacción. Para este análisis se asignó un rango de valores de la resistencia residual al corte no drenado de los suelos de la fundación, los cuales deberán ser validados durante el seguimiento a la construcción.

Por último, dentro del área de San Antonio se encuentran varios piezómetros Casagrande los cuales estiman los niveles piezométricos entre 10 y 20 m por debajo de la superficie. Para El Balzal, se instalaron piezómetros Casagrande, indicando niveles piezométricos aproximados entre 2 y 10 m por debajo de la superficie. Tierra Group modeló los depósitos San Antonio y El Balzal de manera conservadora, asumiendo que, durante operación, los niveles piezométricos se incrementarían y se desarrollaría un nivel freático a lo largo de la interfaz entre el material de relleno (estéril y mineral) y la fundación.

2.3.3.8 Metodología caracterización componente Atmósfera

2.3.3.8.1 Meteorología

Para la evaluación de las condiciones climáticas del área de influencia del Proyecto se revisaron las estaciones climatológicas operadas por el IDEAM cercana a la zona de influencia del proyecto minero y se caracterizaron las siguientes variables atmosféricas: (1) temperatura, (2) Presión atmosférica, (3) Precipitación, (4) Humedad relativa, (5) Radiación solar, (6) vientos y (7) Nubosidad. Vale la pena destacar que lo anterior se efectuó con el propósito de identificar las tendencias y variaciones presentes sobre la zona de estudio.

Adicionalmente, se revisó información secundaria para las variables presión atmosférica y radiación solar que no cuenta con instrumentación de medida cercana a la zona de intereses. Sobre este último aspecto y acatando las recomendaciones expuestas en los términos de referencia para estudios ambientales (MinAmbiente, 2016), dichos datos fueron extraídos de la misión espacial ERA 5, la cual es operada por Copernicus Climate Change Service (C3S), el cual pertenece al Programa de Observación de la Tierra Copérnico de la Unión Europe. (Ver Tabla 2.105).

Por otro lado, se resalta que se revisó los registros de las estaciones climatológicas Providencia y Cristales, las cuales pertenecen a la red de monitoreo instalada por GRAMALOTE en las inmediaciones del proyecto minero. Es importante aclarar que las series asociadas a dichos instrumentos solo cuentan con tres (3) años de observaciones, por lo que no cumplen con la longitud mínima establecida por los términos de referencia para evaluar impactos ambientales en proyectos de explotación minera (MinAmbiente, 2016), razón por la cual estos datos solo fueron utilizados para validar y corroborar las tendencias que son reflejadas por las mediciones del IDEAM. (Ver Tabla 2.105).

Tabla 2.105 Estaciones utilizadas para la caracterización climatológica

Nombre	Entidad	Código	Variables Medidas	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
San Roque	IDEAM	23080760	Precipitación	4.777.030,13	2.275.300,52	1.435
Gja Exp Nus	IDEAM	23085080	Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa, Vientos, Nubuosidad.	4.796.966,92	2.274.793,56	859
Alejandría	IDEAM	23085030	Precipitación, Temperatura	4.762.999,44	2.263.061,87	1.712
El Morro	IDEAM	23080660	Precipitación	4.764.158,38	2.273.053,21	2.210
Guayabito	IDEAM	27015190	Precipitación, Temperatura	4.762.699,84	2.281.208,96	1.440
Las Violetas	IDEAM	23085210	Precipitación	4.778.540,60	2.259.969,85	1.016
San Antonio	IDEAM	27011230	Precipitación	4.762.196,24	2.290.101,65	1.029
Sto. Domingo	IDEAM	23080390	Precipitación	4.760.785,72	2.273.244,39	1.944
Yolombo	IDEAM	23100040	Precipitación	4.777.751,96	2.287.106,39	1.442

Nombre	Entidad	Código	Variables Medidas	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
Providencia	Gramalote	n/a	Precipitación, Temperatura, Presión atmosférica, Humedad Relativa, radiación solar	4.788.946,70	2.278.327,98	978
Cristales	Gramalote	n/a	Precipitación, Temperatura, Presión atmosférica, Humedad Relativa, radiación solar, Vientos	4.787.561,92	2.274.918,12	1278
ERA 5	Copernicus	n/a	Presión Atmosférica, radiación solar, Vientos	4.786.631,30	2.270.011,39	n/a

Fuente: Integral S.A., 2025

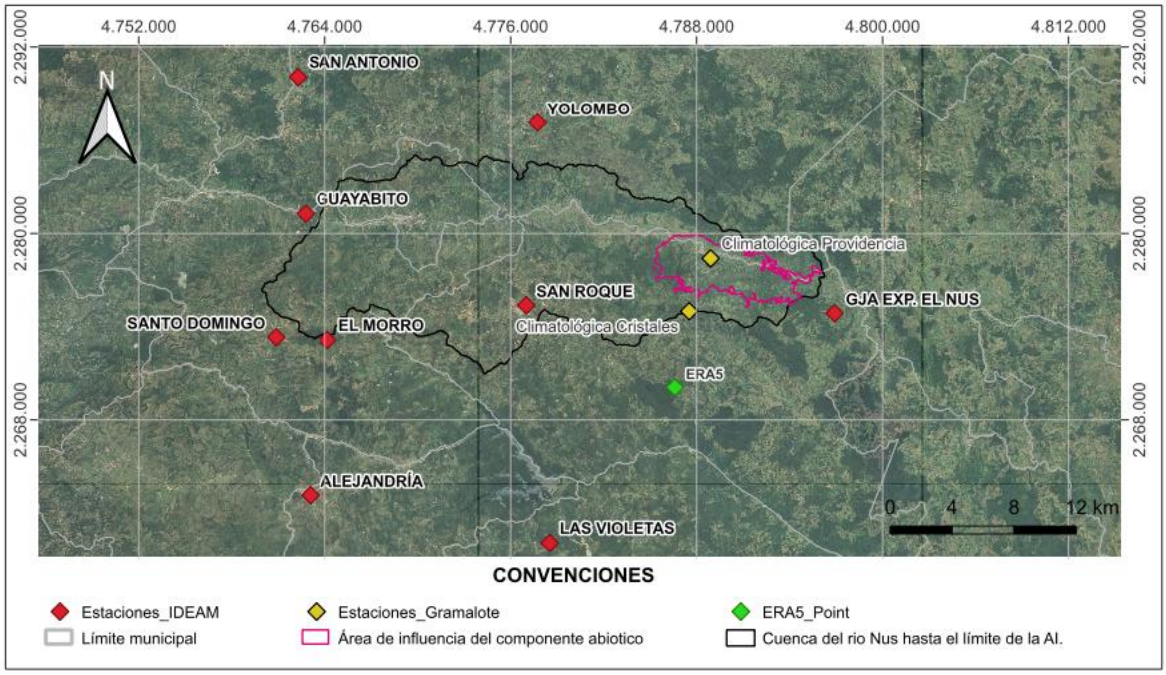


Figura 2.23 Ubicación de las estaciones para la caracterización climatológica

Fuente: Integral S.A., 2025

A. Temperatura

Para la caracterización de este parámetro sobre la zona de estudio se utilizó las estaciones meteorológicas delIDEAM, disponibles en la zona tal como se describe en el capítulo 2.3.3.5.3 y para corroborar sus tendencias se empleó la instrumentación perteneciente a la red de monitoreo de GRAMALOTE. (Ver Tabla 2.106).

Tabla 2.106 Estaciones utilizadas en la caracterización de la temperatura

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)	Rango de años analizado	Años de registro
Granja. Exp. El Nus (IDEAM)	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	1.978-2.024	46
Alejandría (IDEAM)	23085030	4.762.999,44	2.263.061,87	1.712	1.990-2.024	35
Guayabito (IDEAM)	27015190	4.762.699,84	2.281.208,96	1.440	1.979-2.024	46
Providencia (GRAMALOTE)	N/A	4.788.946,70	2.278.327,98	978	2.021-2.024	3
Cristales (GRAMALOTE)	N/A	4.787.561,92	2.274.918,12	1278	2.021-2.024	3

Fuente: Integral S.A., 2025

A partir de las series de tiempo (extraídas de las estaciones antes citadas), se analizó para el área de interés las temperaturas máximas, medias y mínimas a escala diaria, mensual y anual, así como los ciclos medios interanuales asociados a los puntos de monitoreo.

En relación con la distribución espacial de esta variable se debe señalar que tomando como base los valores medios y aplicando el método de interpolación geoespacial denominado como “Kriging Universal”, se obtuvo el ráster y las isolíneas de temperatura. Para este proceso se usará el software SAGA GIS v9.3, en el que se asume como parámetro predictor la cartografía base en escala 1:25.000 que se encuentra disponible para la zona de estudio, y un ajuste del tipo lineal para correlacionar ambos elementos.

B. Presión Atmosférica

Para caracterizar este parámetro se utilizó las fuentes secundarias de información, de la misión espacial satelital ERA 5, datos horarios disponibles desde 2014 hasta la fecha (11 años). La información fue descargada de la página de la ECMWF (Centro Europeo para pronostico del clima a mediano rango por sus siglas en ingles) y se presenta en ANEXOS_CARACTERIZACIÓN_CLIMATOLOGÍA_5_00_Era5.

Se resalta que, las estaciones climatológicas del IDEAM ubicadas en la zona no cuentan con mediciones disponibles de esta variable, y las estaciones climatológicas propiedad de GRAMALOTE no cuentan con la longitud de registro exigida por los términos de referencia (5 años) para evaluar impactos ambientales en proyectos de explotación minera. (ANLA, 2016), por lo que estas estaciones solo fueron utilizadas de forma comparativa. La información de las estaciones se presenta en la Tabla 2.107.

Tabla 2.107 Estaciones para caracterizar la presión atmosférica

Estación	Este (m)	Norte (m)	Periodo analizado	Años de registro
ERA5	4.786.631,30	2.270.011,39	2.010-2.024	11
Providencia (GRAMALOTE)	4.788.946,70	2.278.327,98	2.021-2.024	4
Cristales (GRAMALOTE)	4.787.561,92	2.274.918,12	2.021-2.024	4

Fuente: Integral S.A., 2025

Con base en la serie horaria satelital y las estaciones ubicadas en tierra (pertenecientes a la red de monitoreo GRAMALOTE) fueron analizadas las presiones medias a escala mensual y multianual.

C. Precipitación

El análisis estadístico y espacial de la precipitación se realizará con base en los registros diarios obtenidos de las estaciones pluviométricas del IDEAM disponibles en la zona tal como se describe en el capítulo 2.3.3.5.3, las cuales fueron sometidas a pruebas no paramétricas de homogeneidad, tendencia y de detección de valores atípicos (Outliers) (descritas en el capítulo 2.3.3.5.2), esto con el fin de asegurar la calidad de la información utilizada. Así mismo, es importante destacar que se adoptó el umbral de análisis recomendado en los términos de referencia para estudios ambientales (MADS, 2018) en los que se indica que en lo posible se deben emplear dentro del proceso de caracterización longitudes temporales que superen los 10 años de observaciones. (Ver Tabla 2.108).

Tabla 2.108 Estaciones para caracterizar la precipitación

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo analizado	Años de registro
San Roque	23080760	4.777.030,13	2.275.300,52	1.435	1.995-2.024	30
Gja Exp Nus	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	1.995-2.024	30
Alejandría	23085030	4.762.999,44	2.263.061,87	1.712	1.998-2.024	27
El Morro	23080660	4.764.158,38	2.273.053,21	2.210	1.973-2.024	13
Guayabito	27015190	4.762.699,84	2.281.208,96	1.440	1.970-2.024	54
Las Violetas	23085210	4.778.540,60	2.259.969,85	1.016	1.999-2.024	13
San Antonio	27011230	4.762.196,24	2.290.101,65	1.029	2.004-2.024	21
Sto. Domingo	23080390	4.760.785,72	2.273.244,39	1.944	1.988-2.024	37
Yolombo	23100040	4.777.751,96	2.287.106,39	1.442	2.005-2.024	20

Fuente: Integral S.A., 2025

Bajo el anterior contexto se valoraron para el área de interés las lluvias medias a escala mensual y anual, así como los eventos diarios máximos que permitieron obtener las magnitudes extremas asociadas a los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100 y 500 años. Adicionalmente, tomando como base los valores medios multianuales y aplicando el método de interpolación geoespacial denominado “Kriging Universal”, se obtuvo el ráster y las isolíneas de precipitación. Para este proceso se usará el software SAGA GIS v9.3, en el que se asume como parámetro predictor la cartografía base en escala 1:25.000 que se encuentra disponible para la zona de estudio, y un ajuste del tipo lineal para correlacionar ambos elementos.

D. Humedad Relativa

Respecto al análisis estadístico de este parámetro, se debe establecer que este proceso se realizó con base principalmente en los registros máximos, medios y mínimos diarios que fueron obtenidos de las estaciones IDEAM que se encuentran disponibles en la zona de caracterización climática. (Ver Tabla 2.109) Mediante las series de tiempo anteriormente citadas se valoraron para el área de interés las humedades relativas máximas, medias y mínimas a escala diaria, mensual y anual, así como los ciclos medios interanuales asociados a los puntos de monitoreo.

Tabla 2.109 Estaciones utilizadas para caracterizar la humedad relativa

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Rango de años analizado	Años de registro
Granja Exp. El Nus (IDEAM)	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	1.983-2.023	41
Providencia (GRAMALOTE)	N/A	4.788.946,70	2.278.327,98	978	2.021-2.024	3
Cristales (GRAMALOTE)	N/A	4.787.561,92	2.274.918,12	1278	2.021-2.024	3

Fuente: Integral S.A., 2025

E. Radiación Solar

Para caracterizar este parámetro se usó como base la información satelital del ERA 5, (descarda de igual forma que la información de presión atmosférica), fuente de la cual serán usados los datos horarios disponibles desde 2014 hasta la fecha (cerca de 11 años). Lo anterior, debido a que las estaciones climatológicas del IDEAM ubicadas en la zona no cuentan con mediciones disponibles para esta variable, además de que la instrumentación perteneciente a la red de monitoreo GRAMALOTE no cuenta con la longitud mínima exigida por los términos de referencia para evaluar impactos ambientales en proyectos de explotación minera (5 años). (ANLA, 2016).

A partir de esta información se estimó los valores medios diarios, mensuales y multianuales de radiación solar, y se validarán las tendencias reflejadas por los datos satelitales (promedios diurnos a escala diaria, mensual y multianual), con los registros derivados de las estaciones Providencia y Cristales.

F. Vientos

Respecto al análisis estadístico de este parámetro se debe establecer que este proceso se realizó con base en los registros medios horarios obtenidos de la estación Granja Experimental El Nus [23085081] operada por el IDEAM, aclarando que además se tomaron las estaciones GRAMALOTE para realizar el respectivo análisis comparativo (Ver Tabla 2.110). Se valoraron las rosas de viento diurnas (6:00 a.m.- 6:00 p.m.; 12 horas en total), nocturnas (6:00 p.m.- 6:00 a.m.; 12 horas en total), anuales (totalidad de los registros obtenidos) y sus variaciones mensuales.

Tabla 2.110 Estaciones para la caracterización de la velocidad y dirección del viento

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Rango de años analizado	Años de registro
Granja Exp. El Nus (IDEAM)	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	2.018-2.023	6
Providencia (GRAMALOTE)	N/A	4.788.946,70	2.278.327,98	978	2.021-2.024	3
Cristales (GRAMALOTE)	N/A	4.787.561,92	2.274.918,12	1278	2.021-2.024	3

Fuente: Integral S.A., 2025

G. Nubosidad

La nubosidad es la fracción de cielo que se encuentra cubierta de nubes para un instante dado. Esta variable se expresa en octavos de cielo cubierto u octas, los rangos bajo los cuales se mide esta variable se exhiben en la Tabla 2.111.

Tabla 2.111 Nubosidad según los rangos en octas

Símbolo	Extensión Cielo Cubierto	
	0/8	Despejado
	1/8	Poco nuboso
	2/8	Poco nuboso
	3/8	Poco nuboso
	4/8	Nuboso
	5/8	Nuboso
	6/8	Muy nuboso
	7/8	Muy nuboso
	8/8	Cubierto

Fuente: Evaluación y Control Ambiental (E&C), 2011

Para realizar el análisis estadístico de este parámetro se tomó como base los registros horarios de la 7:00 a.m., 1:00 p.m. y 6:00 p.m., de la estación Granja Experimental El Nus [23085081] operada por el IDEAM (Ver Tabla 2.112), y se evaluó la nubosidad a escala horaria, mensual y anual para el área de interés.

Tabla 2.112 Estación para la caracterización de la nubosidad

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Rango de años analizado	Años de registro
Granja Exp El Nus	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	1.997-2.023	27

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.3.8.2 Calidad de aire

Para el desarrollo de este estudio se instalaron seis (6) estaciones de monitoreo, cuya ubicación se definió conforme a los criterios establecidos en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *"Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones"*, y en la Resolución 2154 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *"Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones"*.

A. Metodología de muestreo y análisis

Los muestreos se realizaron conforme a los criterios establecidos en la Resolución 2254 de noviembre de 2017 y a los procedimientos internos del laboratorio SERAMBIENTE S.A.S. para el monitoreo de calidad del aire.

A continuación, en la Tabla 2.113 se presentan los métodos de muestreo y análisis para las estaciones manuales y en la Tabla 2.114 se presentan para los contaminantes que son reportados en línea por los equipos.

Tabla 2.113 Resumen métodos de muestreo y análisis para parámetros de calidad del aire – Equipos manuales

Parámetro	Muestreo	Método de análisis	Referencia
Partículas menores a 10 micras (PM10)	Hi-Vol	Gravimétrico	U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Capítulo I, Subcapítulo C, Apéndice J: Alto Volumen. RFPS-0202-141
Partículas menores a 2.5 micras (PM2.5)	Low-Vol	Gravimétrico	U.S. EPA CFR Titulo 40, Parte 50, Apéndice L. RFPS-1014-219
Partículas Suspendidas Totales (PST)	Hi-Vol	Gravimétrico	U.S. EPA E-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice B.
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV'S) (incluye BTEX)	Tubos absorbentes	Desorción térmica y cromatografía de gases	Compendio de métodos para la determinación de compuestos tóxicos en aire ambiente, 2da edición, método U.S. EPA TO-17, 1999.

Fuente: US EPA 40 CFR Parte 50

Tabla 2.114 Resumen métodos de muestreo y análisis para parámetros de calidad del aire – Equipos automáticos

Parámetro	Muestreo	Método de análisis	Referencia
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	HORIBA APNA-370 FPI-AQMS-600	Fotometría	U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice F. Fotometría. Métodos de referencia automáticos: RFNA-0506-157 y RFNA-0819-254.
Monóxido de Carbono (CO)	FPI-AQMS-400 SABIO 6050 HORIBA APMA-370	Fotometría	U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice C. Fotometría. Métodos de referencia automáticos: RFCA-0419-252, RFCA-0817-248 Y RFCA-0506-158.
Dióxido de Azufre (SO2)	FPI-AQMS-500 SABIO 6020	Fluorescencia Ultravioleta	US EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice A-1. Fluorescencia Ultravioleta.

Parámetro	Muestreo	Método de análisis	Referencia
			Métodos de referencia automático: RFSA-1219-255 Y RFSA-0616-237.
Ozono (O3)	THERMO 49 iQ-ANAN FPI AQMS-300 TELEDYNE T400	Fotometría	U.S. EPA CFR Título40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice D. Fotometría. Método de referencia Automático: EQOA-0880-047, EQOA-0719-253 Y EQOA-0992-087.

Fuente: US EPA 40 CFR Parte 50

A continuación, se describe la metodología utilizada para cada parámetro.

a. Partículas Menores a 10 micras (PM10)

El método para la medición de Partículas Menores a 10 micras (PM10) permite determinar la concentración de partículas respirables en el aire durante un período de 24 horas, con el fin de verificar el cumplimiento de la normatividad de calidad del aire. El procedimiento no es destructivo, lo que permite realizar análisis físicos o químicos posteriores sobre el filtro.

El principio del método consiste en hacer pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro tamaño-selectivo durante el período de muestreo. El filtro se pesa antes y después de la exposición para determinar la masa de partículas retenidas, y la concentración de PM10 se calcula dividiendo esa masa entre el volumen total de aire muestreado, expresándose en µg/m³. El rango de medición depende de las características del filtro, el equipo utilizado y la capacidad del muestreador para mantener un flujo constante.

Los gastos reales, se calculan con base en las calibraciones que incluyen el correspondiente factor de corrección. El volumen de gases se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V = \frac{(Q_i - Q_f) \times t}{2 \times 35{,}315}$$

Donde:

Q_i: Caudal inicial, c.f.m.

Q_f: Caudal final, c.f.m.

V: Volumen de aire muestreado en m3.

T: Tiempo de muestreo, en minutos.

35,315: Factor de conversión de pies a metros cúbicos.

La concentración de partículas en suspensión se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(P_f - P_i) \times 10^6}{V}$$

Donde:

C: Concentración de partículas, en µg/m3.

P_f: Peso final del filtro, en gramos.

P_i: Peso inicial del filtro, en gramos.

V: Volumen de aire muestreado, en m3.

Las fuentes potenciales de error incluyen:

- **Partículas volátiles:** pueden perderse durante la manipulación y el almacenamiento del filtro antes del pesaje final.
- **Errores artificiales:** causados por la retención de gases como dióxido de azufre y ácido nítrico, que generan incrementos artificiales de masa.
- **Humedad:** afecta el peso del filtro a pesar del acondicionamiento previo.
- **Variación en la tasa de flujo:** puede alterar la eficiencia de separación de partículas del cabezal PM10.
- **Determinación del volumen de aire:** errores asociados al flujo o al tiempo de muestreo.

Para el monitoreo se emplearon filtros de microfibra de cuarzo y un muestreador de alto volumen equipado con cabezal de aluminio, motor succionador, portafiltro y medidor de flujo.

b. Partículas Menores a 2.5 micras (PM2.5)

El método para medir Partículas Menores a 2.5 micras (PM2.5) permite determinar la concentración en masa de partículas finas en el aire ambiente durante períodos usuales de 24 horas, con el fin de verificar el cumplimiento de los límites normativos. El procedimiento no es destructivo y las muestras recolectadas pueden someterse a análisis físicos o químicos posteriores.

El principio del método consiste en aspirar aire a un flujo volumétrico constante mediante un muestreador equipado con una entrada tamaño-selectiva e impactador, que separa partículas mayores, permitiendo que solo las de diámetro aerodinámico ≤ 2.5 µm se depositen en un filtro de PTFE. Cada filtro se pesa antes y después del muestreo bajo condiciones controladas de temperatura y humedad para determinar la masa retenida. La concentración se calcula dividiendo la masa de partículas colectada entre el volumen real de aire muestreado, expresándose en µg/m³.

El rango de medición tiene un límite inferior cercano a 2 µg/m³, basado en la variación de los blancos de campo para un volumen típico de 24 m³ de aire. El límite superior depende de la capacidad del muestreador para mantener el flujo operativo pese al aumento de la caída de presión del filtro cargado; aunque variable, se estima que pueden medirse concentraciones de al menos 200 µg/m³ en 24 horas. El período de muestreo oscila entre 1380 y 1500 minutos (23 a 25 horas).

La concentración de partículas en suspensión se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\left(P_f - P_i\right) \times 10^6}{V}$$

Donde:

C: Concentración de partículas, en µg/m3.

P_f: Peso final del filtro, en gramos.

P_i: Peso inicial del filtro, en gramos.

V: Volumen de aire muestreado, en m3.

Las principales fuentes de error son:

- **Pérdida partículas volátiles** durante el manejo o almacenamiento previo al pesaje final.
- **Errores artificiales positivos** por retención de gases como dióxido de azufre y ácido nítrico, que pueden generar formación artificial de sulfatos o nitratos, dependiendo del tipo de filtro y de las condiciones ambientales.
- **Humedad**, que afecta el peso del filtro incluso tras el acondicionamiento.

Para el monitoreo se utilizaron filtros de PTFE y un muestreador Low-Vol PM2.5 con cabezal, motor succionador, portafiltro y medidor de flujo. El procedimiento y cálculos siguen el método de referencia del 40 CFR Part 50, Apéndice L. La concentración de PM2.5 se determina restando el peso inicial al final del filtro y dividiendo la masa obtenida entre el volumen de aire muestreado.

c. Partículas Suspendidas Totales (PST)

El método se utiliza para medir la concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en el aire ambiente durante un período continuo de 24 horas. La metodología consiste en hacer pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro, el cual se pesa antes y después del muestreo para determinar la masa de partículas capturadas. La concentración de PST se calcula dividiendo la masa obtenida entre el volumen de aire muestreado, expresándose en µg/m³.

Los gastos reales, se calculan con base en las calibraciones que incluyen el correspondiente factor de corrección. El volumen de gases se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t$$

Donde:

Q: Flujo total (m3/min).

V: Volumen de aire muestreado en m3.

t: Tiempo de muestreo, en minutos.

La concentración de partículas en suspensión se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(P_f - P_i) \times 10^6}{V}$$

Donde:

C: Concentración de partículas, en µg/m3.

P_f: Peso final del filtro, en gramos.

P_i: Peso inicial del filtro, en gramos.

V: Volumen de aire muestreado, en m3.

El Medidor de PST, está compuesto por un cabezal de aluminio, un cuerpo central, un motor succionador, el cual, es capaz de operar en forma continua en períodos de 24 horas, un

portafiltro y un registrador de flujo. Para la realización de los monitoreos de partículas totales (PST) se utilizaron Filtros especiales de Microfibra de vidrio.

Las principales fuentes potenciales de error incluyen:

- **Partículas volátiles:** pueden perderse durante la manipulación y almacenamiento previo al pesaje final.
- **Errores artificiales:** se presentan por la retención de especies gaseosas como dióxido de azufre y ácido nítrico, que generan aumentos artificiales de masa en el filtro.
- **Humedad:** afecta el peso del filtro pese a los procedimientos de acondicionamiento diseñados para minimizar este efecto.
- **Variación en la tasa de flujo:** altera la capacidad del equipo para discriminar tamaños de partículas y afecta la recolección.
- **Determinación del volumen de aire:** los errores pueden originarse por imprecisiones en la tasa de flujo o en el tiempo de muestreo.

d. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV´s – incluye BTEX)

Este método permite medir la concentración de COV en aire en periodos de 1 hora, con el fin de evaluar los niveles de estos compuestos en el área de influencia de actividades industriales.

La medición se realiza mediante **cromatografía de gases:** el aire es succionado a través de tubos con material adsorbente, seguido de una **desorción térmica** y una separación cromatográfica que permite identificar y cuantificar los compuestos.

El principal potencial de error proviene de **variaciones en la tasa de flujo** del muestreador, las cuales pueden alterar la recolección de la muestra. Este riesgo se reduce mediante el uso de controladores de flujo.

e. Dióxido de Nitrógeno (NO2)

Este método permite medir la concentración de NO_2 en el aire ambiente durante periodos de 24 horas, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la normatividad de calidad del aire.

La medición se realiza mediante quimioluminiscencia en fase gaseosa, utilizando equipos automáticos que operan de forma continua. Estos analizadores emplean modulación de flujo cruzado y permiten determinar simultáneamente las concentraciones de NO, NO_2 y NOx.

f. Monóxido de Carbono (CO)

Este método permite medir periódicamente la concentración de CO en el aire ambiente para evaluar los niveles del contaminante en el área de influencia.

La medición se basa en espectroscopía infrarroja no dispersiva (NDIR). El equipo utiliza una rueda filtrante que alterna entre una celda con CO (rayo de referencia) y una celda con nitrógeno (rayo de medición). La atenuación diferencial de la radiación infrarroja causada por el CO presente en la muestra es detectada y convertida en concentración.

Este sistema ofrece alta estabilidad y menor sensibilidad a interferencias, vibraciones y fluctuaciones de la fuente IR.

Las principales fuentes de error están asociadas a la manipulación inadecuada del equipo y al uso de gases patrón degradados o contaminados. Ambos se minimizan mediante verificaciones mensuales y el empleo de gases patrón certificados.

g. Dióxido de Azufre (SO2)

El método se utiliza para determinar la concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el aire ambiente durante un período de 24 horas, con el propósito de verificar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

El muestreo se realiza mediante un analizador por fluorescencia ultravioleta (UV), el cual cuenta con un sistema óptico de baja señal de fondo, alta sensibilidad y estabilidad mejorada. La cámara de fluorescencia está diseñada para reducir los efectos de la humedad, y el equipo incorpora un sistema de compensación automática que ajusta la disminución de la energía de la lámpara, garantizando la estabilidad de la calibración con el tiempo.

Los equipos NDIR constan de una fuente IR, celda de muestra, filtro óptico y detector, operando mediante la comparación alternada entre un rayo de referencia y un rayo de medición para determinar la presencia de CO.

h. Ozono (O3)

Este método permite medir la concentración de ozono en aire durante períodos continuos de 24 horas, con el fin de evaluar los niveles del contaminante en el área de influencia.

La medición se basa en fotometría ultravioleta siguiendo la Ley de Lambert-Beer. La muestra de aire se divide en dos flujos: uno pasa por un catalizador de óxidos de molibdeno que elimina el ozono (flujo de referencia) y el otro ingresa directamente a una celda de medición. Ambos flujos son irradiados con luz UV y su absorbancia es detectada por un fotomultiplicador (PMT). La diferencia entre ambas señales es proporcional a la concentración de ozono, la cual es procesada y registrada automáticamente por el analizador.

Los errores más comunes provienen de la humedad ambiental y de variaciones en la tasa de flujo, aunque estos se reducen mediante control de temperatura y trampas de humedad.

El equipo utilizado es un analizador de ozono por fotometría UV operado en ciclos de 24 horas.

B. Incertidumbre de los resultados

El laboratorio SERAMBIENTE S.A.S. utiliza la regla de aceptación simple (w = 0) para declarar la conformidad de los resultados, conforme a la ISO/IEC 17025:2017. Esta regla funciona de manera binaria, es decir, divide los resultados en solo dos posibles decisiones: cumple o no cumple. Bajo esta regla, el límite de aceptación es exactamente el mismo que el límite normativo, sin márgenes adicionales.

La evaluación de conformidad se interpreta así:

- **Pasa (cumple)**: el valor medido está por debajo del límite de aceptación.
- **No pasa (no cumple):** el valor medido está por encima del límite de aceptación.

2.3.3.8.3 Ruido

El monitoreo se desarrolla en el área de influencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, que se encuentra localizado en el corregimiento de Providencia, municipio de San Roque, departamento de Antioquia. Se tomó como normativa de referencia el artículo 17, de la Resolución 0627 de 2006, en el cual se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A (dB(A)), puntualmente el Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado. Subsector Residencial suburbana y Subsector Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.

A. Información de los equipos de medida

Estas mediciones se realizaron siguiendo lo establecido por la Resolución 0627 de 2006; las mediciones de ruido ambiental se realizaron con el sonómetro ubicado en 5 posiciones diferentes, cada una de las cuales ubicó una orientación del micrófono en referencia a un punto fijo: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba, sobre un trípode a 4 metros del suelo, y con un radio de 4 metros sin interferencia o barrera alguna.

El clima es tropical. La ciudad de San Roque destaca por sus precipitaciones, con una cantidad considerable de lluvia incluso en meses típicamente secos. El clima se clasifica como Af según la escala de Köppen-Geiger. En San Roque, la temperatura media anual es de 19,5 °C (67,1 °F). La precipitación anual alcanza los 2162 mm (85,1 pulgadas), según los registros meteorológicos. (www.es.climate-data.org/).

Para ejecutar la medición se utilizaron cinco (5) sonómetros los cuales se mencionan a continuación: dos (2) sonómetros automáticos SVAN 977 marca Svantek, dos (2) sonómetros automáticos 308S marca BSWA TECH y un (1) sonómetro automático modelo SoundPro DL marca Quest Technologies. Las mediciones se efectuaron aplicando un filtro de ponderación frecuencia (db(A)) y un filtro de ponderación temporal S (Slow, respuesta, lenta), con micrófono desmontable y pantalla de viento.

Para la verificación del correcto funcionamiento de los sonómetros se utilizaron dos (2) calibradores acústicos con precisión tipo 1 para sonómetros con una frecuencia de salida Seleccionable, 250 Hz, 1000 Hz±2%, con una dispersión de menos del 1% modelo QC20, dos (2) calibradores acústicos con precisión tipo 1 para sonómetros con una frecuencia de salida de 1000 Hz y 114 dB, con una dispersión de menos del 1% marca Quest Technologies (3M), modelo QC-10 y un calibrador acústico con precisión tipo 1 para sonómetros con una frecuencia de salida de 1000 Hz y 114 dB, con una dispersión de menos del 1% marca BSWA TECH CA III.

Los datos de calibración, el ajuste y la fecha de vencimiento del certificado del sonómetro y calibrador se encuentran en ANEXOS_CARACTERIZACION_ATMOSFERA_5_1_8_3_Monitor_Ruido y adicionalmente la ficha técnica correspondiente para estos mismos equipos.

Procedimiento de medición utilizado

Según lo establecido por la Resolución 0627 artículo 14, los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental deben ser utilizados para realizar el diagnóstico del ambiente por ruido. Los resultados se llevan a mapas de ruido los cuales permiten visualizar la realidad en lo que concierne a ruido ambiental, identificar zonas críticas y posibles contaminadores por emisión de ruido, entre otros. Las mediciones de ruido ambiental se

efectúan de acuerdo con el procedimiento estipulado en los Capítulos II y III del ANEXOS_CARACTERIZACION_ATMOSFERA_5_1_8_3_Monitor_Ruido, de dicha Resolución. Los parámetros monitoreados fueron:

- LAeq (Slow)
- Lmax
- Lmin
- LAeq (Impulse

B. Determinación de ruido ambiental

Para el cálculo del nivel equivalente resultante de la medición en cada uno de los puntos y para cada jornada de muestreo se aplicó la siguiente expresión:

$$LAeqAmbiental = 10.\log ((1/5).\ (10Ln/10 + 10Lo/10 + 10Ls/10 + 10Le/10 + 10Lv/10))$$

Ecuación 2.50 Nivel equivalente resultante de la medición

Donde:

LAeqAmbiental = Nivel equivalente resultante de la medición.

Ln= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

Lo = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

Ls = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.

Le = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.

Lv = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

C. Ajustes de los niveles de presión sonora

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, LAeq, T, LAeq, T, Residual y nivel percentil L90, se corrigen por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, LRAeq, T, LRAeq, T, Residual y nivel percentil L90, respectivamente. La siguiente expresión servirá como base para efectuar dichas Correcciones:

$$L_{RA(X)T} = L_{A(X)T} + (KI, KT, KR, KS)$$

Ecuación 2.51 Niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A

Donde:

KI= es un ajuste por impulsos (dB(A)(A)).

KT =es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A)(A)).

KR =es un ajuste por la hora del día (dB(A)(A)).

KS =es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A)).

(X) =corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el artículo 4 la Resolución 0627 de 2006 MVADT.

El nivel de presión sonora continúo equivalente ponderado A, LAeq, T, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A).

Para corregir los niveles equivalentes por tonos y por impulsividad se debe proceder como se especifica en el Anexo 2 de la Resolución 0627 del 2006, que aplican para Emisión de ruido y ruido ambiental.

Determinación de los valores de Correcciones K

La corrección de nivel KS se aplica de la siguiente manera:

Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias:

- 5 dB(A) en periodo diurno;
- 8 dB(A) en periodo nocturno.

La corrección de nivel KR por horarios se aplica de la siguiente manera:

Si se desea calcular el nivel equivalente corregido ponderado por frecuencia A para el día y la noche LRAeq, dn, se efectúa la medición nocturna de ruido de la fuente específica, si esta funciona durante la noche, para tener en cuenta el grado de molestia que pueda causar a las personas se hace una corrección por adición de 10 dB(A) para el período nocturno en el cual funcione la fuente específica.

La corrección de nivel KT se determina de la siguiente manera:

Se toma en consideración los componentes tonales del ruido en el lugar de la medición y durante el tiempo que estén presentes estos tonos.

- Por percepción nula de componentes tonales: 0 dB(A)
- Por percepción neta de componentes tonales: 3 dB(A)
- Por percepción fuerte de componentes tonales: 6 dB(A)

La manera detallada de evaluar la presencia de componentes tonales se presenta a continuación:

Se hace un análisis con resolución de 1/3 de octava. Se calcula la diferencia:

$$L = Lt - Ls$$

Donde:

Lt: Es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro.

Ls: Es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si $L < 8$ dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 8 dB(A)$\leq L \leq 12$ dB(A), hay componente tonal neto.
- Si $L > 12$ dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si $L < 5$ dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 5 dB(A)$\leq L \leq 8$ dB(A), hay componente tonal neto.
- Si $L > 8$ dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si L < 3 dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 3 dB(A) ≤ L ≤ 5 dB(A), hay componente tonal neto.
- Si L > 5 dB(A), hay componente tonal fuerte.

La corrección de nivel KI se determina de la siguiente manera:

Se toma en consideración los componentes impulsivos en el lugar de la medición y durante el tiempo que estén presentes los respectivos impulsos.

- Por percepción nula de componentes impulsivos: 0 dB(A)
- Por percepción neta de componentes impulsivos: 3 dB(A)
- Por percepción fuerte de componentes impulsivos: 6 dB(A)

El ruido que se evalúa tiene componentes impulsivos si se perciben sonidos de alto nivel de presión sonora y duración corta. Para evaluar de manera detallada la presencia de componentes impulsivos se establece el siguiente procedimiento:

Para una determinada fase de ruido de duración Ti en la cual se percibe un ruido impulsivo

- Se mide el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, durante Ti, LA, Ti.
- Se mide el nivel de presión sonora ponderado A, determinado con la característica temporal Impulso (Impulse; en inglés), promediado en el tiempo Ti, LAI.
- Se calcula la diferencia:

$$Li = LAI - LA, Ti.$$

Si LI < 3 dB(A), no hay componentes impulsivos, Si 3 dB(A)≤ LI ≤ 6 dB(A), hay percepción neta de componentes impulsivos y Si LI > 6 dB(A), hay percepción fuerte de componentes impulsivos.

D. Metodología en campo

Para la realización de las mediciones en campo de ruido ambiental en el área de influencia del proyecto Gramalote, el cual se encuentra localizado en el corregimiento de Providencia, municipio de San Roque, en el departamento de Antioquia, se tuvo en cuenta lo estipulado por la Resolución 0627 del 07 de abril de 2006 y en el procedimiento interno PO– PSM– 11 y FO-PO-PSM-72-06, Procedimiento de medición de emisión de ruido y ruido ambiental y Plan de monitoreo, respectivamente.

Se seleccionaron quince (15) puntos de monitoreo, los cuales fueron suministrados por Gramalote en atención al protocolo y se verificaron las coordenadas de dichos puntos en campo. Esto es con el fin de mantener la trazabilidad de la información y poder realizar un análisis comparativo de los resultados si así se requiere.

Inicialmente se hizo un recorrido de reconocimiento de los puntos, el sonómetro fue ubicado teniendo en cuenta el capítulo I del anexo 3 de la Resolución 0627 del 07 de 2006, en donde se establece que las mediciones de ruido ambiental se realizan en 5 posiciones diferentes: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba, sobre un trípode a 4 metros del suelo, y con un radio de 4 metros sin interferencia o barrera alguna.

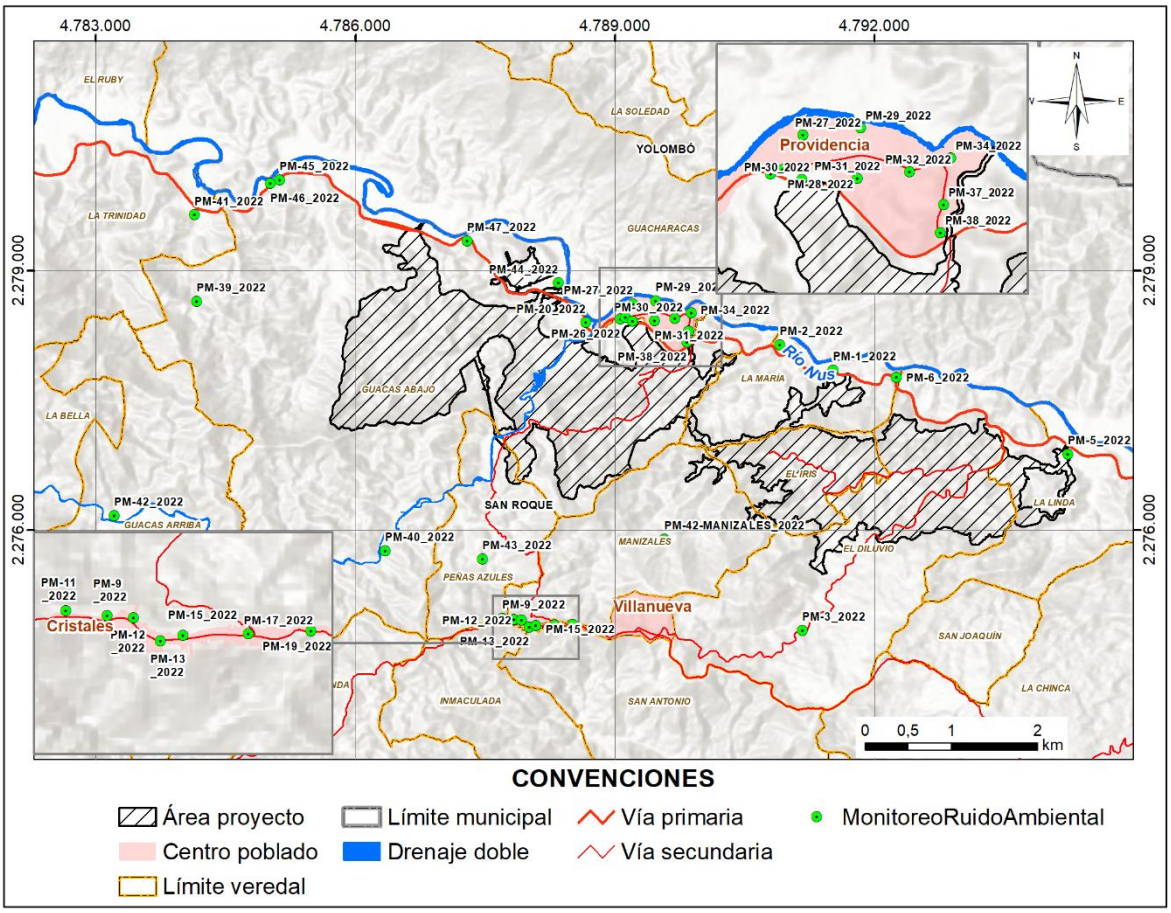


Figura 2.24 Ubicación del sonómetro según Resolución 0627 de 2006

Fuente: Protocolo para la medición de emisión de ruido, ruido ambiental y realización de mapas de ruido., 2006

Antes de iniciar el monitoreo se realizó la medición de la velocidad del viento con estaciones meteorológicas. Cabe mencionar que se hizo uso de una pantalla anti-viento de manera preventiva con el fin de evitar desperfectos durante la medición (ver ítem Procedimiento para la medición del viento). Adicionalmente se verificó los parámetros de medición en el equipo, siendo estos:

- Nivel de presión sonora equivalente ponderado A,
- Ponderado lento (S) en el medidor 1,
- Ponderado impulsivo (I) en el medidor 2
- Resolución 1/3 de octava.

Después de configurar los parámetros de medida del equipo, se procedió a realizar la medición de ruido ambiental en un periodo de 24 horas, tomando 24 mediciones de 60 minutos, con el fin de hallar el nivel de presión sonora en cada punto de monitoreo.

Al terminar la jornada se realizó nuevamente la verificación del equipo, con el fin de asegurar las condiciones iniciales y una toma de datos representativa. Adicionalmente se supervisó e identificó las posibles fuentes generadoras de ruido, llevando así un control y registro en la documentación, así como la verificación de los equipos e instrumentos

utilizados para la toma. En ANEXOS_CARACTERIZACION_ATMOSFERA_5_1_8_3_Monitor_Ruido se presentan los datos de calibración tomadas en campo.

E. Metodología para isófonas

Las isófonas son generadas en ArcGIS módulo ArcMap versión 10.3, se trazaron teniendo en cuenta los resultados de las mediciones de ruido ambiental realizadas en cada uno de los puntos que abarcan el área de influencia, a través del método de interpolación de IDW que utiliza distancias inversas ponderadas para la interpolación de una trama de puntos en una superficie dada, haciendo la interpolación de las mismas en los casos pertinentes, teniendo en cuenta una amplitud de 5 decibeles ponderados entre cada una de estas.

Los mapas de ruido (isófonas) realizados, representan la distribución de la generación de ruido en la zona de medición y son líneas que unen puntos de igual valor de ruido, las isófonas se grafican teniendo rangos de decibeles, en este caso 5 decibeles para cada intervalo, siguiendo el código de colores establecido en la Resolución 0627 de 2006.

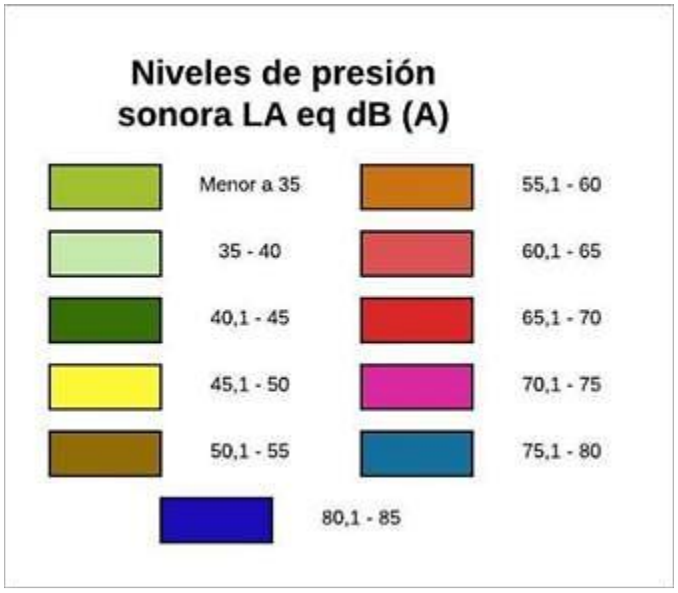


Figura 2.25 Niveles de presión sonora

Fuente: Resolución 0627 del MAVDT - Año 2006

F. Procedimiento para la medición del viento

Teniendo en cuenta lo establecido en el PO-PSM-11 procedimiento de mediciones de emisión de ruido y ruido ambiental, para la determinación de la velocidad del viento durante el periodo de monitoreo se utilizó la estación meteorológica. El ingeniero de campo ubicó el equipo y veleta en la misma altura en la que se encontraba el micrófono del equipo de medición. Realizó la descarga de los registros de la estación meteorológica para cada memoria de medición y registró el valor máximo de velocidad del viento presentado durante la misma en el formato de campo Planilla de campo emisión de ruido y ruido ambiental FO-PO-PSM-11-01. Es importante mencionar que durante el monitoreo se verifico que la velocidad del viento se encontrara por debajo de los 3 m/s, sin embargo, se empleó una pantalla anti-viento para evitar desperfectos en las mediciones.

2.3.3.8.4 Vibraciones

En el contexto de los estudios de impacto ambiental (EIA) para proyectos de explotación minera, la vibración ambiental se define como el movimiento oscilatorio del suelo inducido por fuentes naturales o antrópicas. La evaluación de estos fenómenos se centra en determinar si su magnitud y frecuencia pueden generar efectos adversos sobre las estructuras circundantes. Con base en Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA para Proyectos de Explotación Minera (TDR-13) (ANLA, Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera., 2016) se elabora el capítulo 5.1.8.6.4 Vibraciones, este estudio se realizó conforme a los requerimientos mínimos de caracterización de vibraciones. De esta manera, se emplearon estándares internacionales, como la norma DIN 4150-3:1999 (DIN, 1999), para evaluar el impacto potencial en edificaciones y estructuras. En este marco, el desarrollo del capítulo de vibraciones se llevó a cabo siguiendo las etapas metodológicas que se describen a continuación.

A. Selección Puntos de Muestreo

El objetivo de esta etapa es ubicar puntos estratégicos dentro del área de influencia del proyecto, preferiblemente al aire libre y cercanos a edificaciones receptoras, con el fin de realizar una evaluación general de los niveles de vibración y sobrepresión. Esta medición permite estimar, de manera integral, si las vibraciones asociadas a actividades antrópicas o voladuras provenientes de explotaciones mineras formalizadas y no formalizadas existentes en el área, podrían generar afectaciones estructurales, conforme a los estándares internacionales. Para ello, se definieron cuatro (4) puntos de medición dentro del área de influencia para la **modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote**, denominadas como: Punto 1 Caseta Manizales, Punto 2 Peñas Azules, Punto 3 La María y Punto 4 Portería Visitantes cuya ubicación se presenta en la Tabla 2.115 y la Figura 2.26. En el desarrollo del capítulo de vibraciones se incluye la justificación de la selección de los puntos seleccionados.

Tabla 2.115 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Punto de Muestreo (Nombre)	Punto de Muestreo (Nomenclatura)	Coordenadas		Vereda
		Este	Norte	
Punto 1 Caseta Manizales	P1CM	4.789.042,93	2.275.665,62	Manizales
Punto 2 Peñas Azules	P2PA	4.787.564,56	2.276.054,31	Peñas Azules
Punto 3 La María	P3LM	4.790.865,03	2.278.096,98	La María
Punto 4 Portería visitantes	P4PV	4.789.243,28	2.278385,79	Guacas Abajo.

*Coordenadas en Magna Sirgas Origen Nacional

Fuente: Orica Colombia S.A.S., 2025

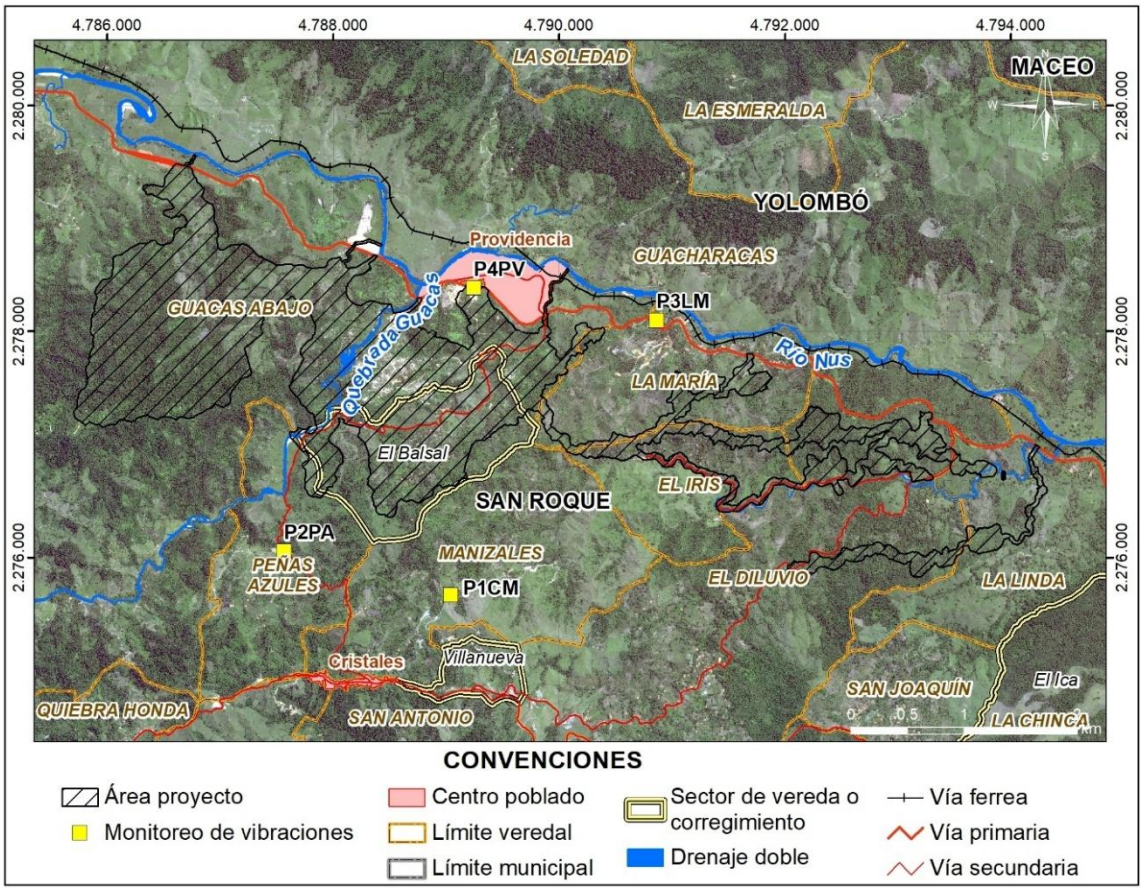


Figura 2.26 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Fuente: Integral S.A., 2025

B. Equipo de Registro

Esta etapa se incluyó la definición y uso de la instrumentación, en concordancia con el capítulo 5.1.8.6.4 de los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA para Proyectos de Explotación Minera (TDR-13), que exige medir vibraciones con sensores sísmicos y sistemas de adquisición capaces de registrar y procesar aceleración y velocidad del suelo en tres ejes ortogonales, en bandas de tercio de octava entre 1 y 315 Hz. La instrumentación empleada estuvo conformada por geófonos triaxiales Infra V12 (rango 0,04–20 mm/s; 1–315 Hz), sensores de presión de aire Infra S10 (hasta 160 dBL) y unidad de registro Infra 4100. Lo que permitió la recolección y almacenamiento continuo de datos, asegurando trazabilidad y control durante toda la campaña (ver Fotografía 2.14).



Fotografía 2.14 Equipos de medición empleados en medición de vibraciones

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025

Los equipos de medición conformados por geófonos triaxiales Infra V12 y sensores de presión de aire Infra S10, contaron con certificados de calibración que se anexan como soporte de trazabilidad metrológica y confiabilidad de resultados (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_VIBRACIONES_Certificado_Calibracion). En el caso de las unidades de registro Infra 4100, no aplica la emisión de certificados, dado que su función se limita a la adquisición y transmisión de datos, sin realizar mediciones directas.

Las fichas técnicas completas de la instrumentación se anexan para consulta de especificaciones y condiciones de operación (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_VIBRACIONES_Fichas_Tec_Sist_Moni).

C. Recolección de datos

Esta etapa consistió en el registro continuo de vibraciones y presión de aire en los cuatro puntos de monitoreo seleccionados, siguiendo lo establecido en el capítulo 5.1.8.6.4 de los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para Proyectos de Explotación Minera TDR-13.

El monitoreo se realizó de manera continua durante siete (7) días en cada punto, con el objetivo de abarcar un ciclo semanal completo que incluyera tanto días hábiles como fines de semana. Este periodo permitió registrar el comportamiento de las vibraciones y la presión de aire bajo distintas condiciones identificando posibles variaciones asociadas a actividades antrópicas y a voladuras provenientes de explotaciones mineras formalizadas y no formalizadas presentes en la zona de influencia.

El programa de medición se desarrolló en dos fases consecutivas:

- Fase 1: Del 8 al 14 de julio de 2025, se realizó la medición continua en los puntos denominados Punto 1 Caseta Manizales y Punto 2 Peñas Azules.
- Fase 2: Del 15 al 21 de julio de 2025, los equipos fueron trasladados e instalados en el Punto 3 La María y Punto 4 Portería de Visitantes, donde se continuó con el monitoreo bajo las mismas condiciones técnicas.

Durante el periodo de medición, los equipos operaron en modo de registro por activación, capturando simultáneamente la velocidad pico de partícula (PPV) en milímetros por segundo (mm/s), la aceleración en metros por segundo cuadrado (m/s²) y la frecuencia en hercios (Hz), variables registradas en los tres ejes ortogonales (X, Y, Z). De manera complementaria, se midió el nivel de presión de aire en decibelios lineales (dBL).

En cada uno de los sitios se contó con la presencia permanente de personal de campo, encargado de registrar —mediante observación directa y anotaciones en bitácoras (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_VIBRACIONES_Bitacoras_Campo). Las posibles fuentes externas asociadas a cada evento detectado por los equipos, tales como tránsito vehicular, paso de personas, movimiento de animales y otras actividades antrópicas.

D. Procesamiento de datos

Se contrastaron los registros instrumentales de vibración y presión de aire con las observaciones de campo, con el fin de caracterizar el comportamiento vibracional del área de estudio y evaluarlo frente a los límites establecidos por la norma DIN 4150-3:1999.

Este procedimiento permitió correlacionar los valores registrados con las posibles fuentes identificadas, proporcionando una base técnica sólida para la interpretación de los resultados y su comparación con los umbrales normativos aplicables. Se presentan tablas,

que compilan los valores de velocidad, aceleración frecuencia y fuente asociada por punto de monitoreo. En (ANEXOS_CARACTERIZACION_VIBRACIONES_ Tab_Reg_Vibra_Punto_Moni) y tablas que incluyen valores de sobrepresión correspondientes a cada punto medido (ANEXOS_CARACTERIZACION_VIBRACIONES_ Tab_Reg_Sobre_Punto_Moni).

E. Resultados y análisis

Previo al análisis individual de cada punto de monitoreo, se definió el marco de referencia normativo conforme a los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para Proyectos de Explotación Minera TDR-13, los cuales establecen la necesidad de aplicar estándares internacionales, como la norma DIN 4150-3:1999.

El análisis comprende dos etapas complementarias. La primera corresponde a la evaluación general de todos los valores registrados en los tres ejes de medición (vertical, longitudinal y transversal) por cada punto de monitoreo, graficando su comportamiento respecto a los límites establecidos por la norma DIN 4150-3:1999. Esta revisión permite verificar que los niveles registrados se mantuvieron dentro de los márgenes permisibles definidos para cada tipo de estructura (Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3), de forma previa a la identificación de eventos específicos.

En una segunda etapa, se realiza una caracterización detallada de los eventos vibracionales mayor magnitud asociados a posibles fuentes externas identificadas en campo para cada punto de monitoreo, con base en los valores de velocidad. Esta caracterización incluye la comparación puntual de dichos eventos frente a los umbrales normativos, permitiendo establecer el nivel de criticidad y su posible impacto.

2.3.4 Metodología Caracterización medio biótico

Para el desarrollo de este componente se tuvieron en cuenta los *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para los Proyectos de Explotación Minera,* expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2016) y la *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales*, expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA y el MADS. (2018). Adicionalmente, se consideró durante la caracterización de la presente modificación, el permiso que la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare CORNARE mediante Resolución RE-01318-2024 otorgó a INTEGRAL S.A., denominado Permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales. Adicionalmente, para la atención de los requerimientos de información adicional, se implementaron las metodologías de muestreo y los protocolos de recolección de especímenes botánicos desarrolladas y amparados bajo el permiso de estudio para recolección de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales Resolución 1715 del 13 de agosto de 2024 emitido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

2.3.4.1 Metodología caracterización componente Ecosistemas

A continuación, se detallan las metodologías aplicadas para la evaluación y el análisis de los ecosistemas terrestres y acuáticos en cuanto a composición, riqueza y estructura de cada componente del medio biótico presentes en el área de influencia del proyecto.

2.3.4.1.1 Ecosistemas Terrestres

Los ecosistemas terrestres están conformados por los componentes de flora y fauna. En este sentido, se describen las metodologías que fueron implementadas en las fases previa, de campo y de análisis; las cuales permitieron obtener información detallada sobre las distintas comunidades biológicas presentes en los hábitats terrestres. Esta información fue fundamental para dimensionar los impactos ambientales en el área de influencia asociada a los componentes evaluados.

La identificación y delimitación de los ecosistemas terrestres presentes en el área de influencia del medio biótico tuvo como referente el Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia – MEC (IDEAM, 2024), elaborado a escala 1:100.000, el cual corresponde a la versión oficial más reciente y constituye una base cartográfica estratégica para representar la distribución de los ecosistemas en el territorio colombiano.

Dado que el MEC (2024) mantiene la estructura metodológica del MEC (2017) y no cuenta con un documento metodológico independiente, para la descripción del procedimiento se tomó como referencia la memoria técnica publicada para la revisión 2017. En consecuencia, se generó la capa de ecosistemas del área de influencia biótica mediante la aplicación de la metodología descrita en la Memoria Técnica del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (IDEAM, 2017).

La aplicación de esta metodología permitió identificar para el área de influencia biótica los mismos tres biomas representados en el MEC 2024: Helobioma Nechí–San Lucas, Hidrobioma Nechí–San Lucas y Orobioma Subandino Nechí–San Lucas. Este resultado confirma la consistencia entre la clasificación obtenida mediante el procedimiento metodológico del IDEAM y la cartografía oficial vigente.

Para el desarrollo del presente estudio se contó con información temática de mayor resolución espacial y nivel de detalle que la utilizada en la cartografía nacional. Por lo anterior, la aplicación de la metodología a escala 1:25.000, soportada en información climática, geopedológica, de coberturas de la tierra, unidades bióticas, regionalización biogeográfica, fotointerpretación y verificación en campo, permitió ajustar la delimitación espacial de los ecosistemas, particularmente del Helobioma Nechí–San Lucas. Esta verificación de información no modificó la clasificación ecosistémica definida por el IDEAM, sino que incrementó su precisión cartográfica de acuerdo con las condiciones biofísicas identificadas a escala de proyecto (véase Figura 2.27 y la Figura 2.28).

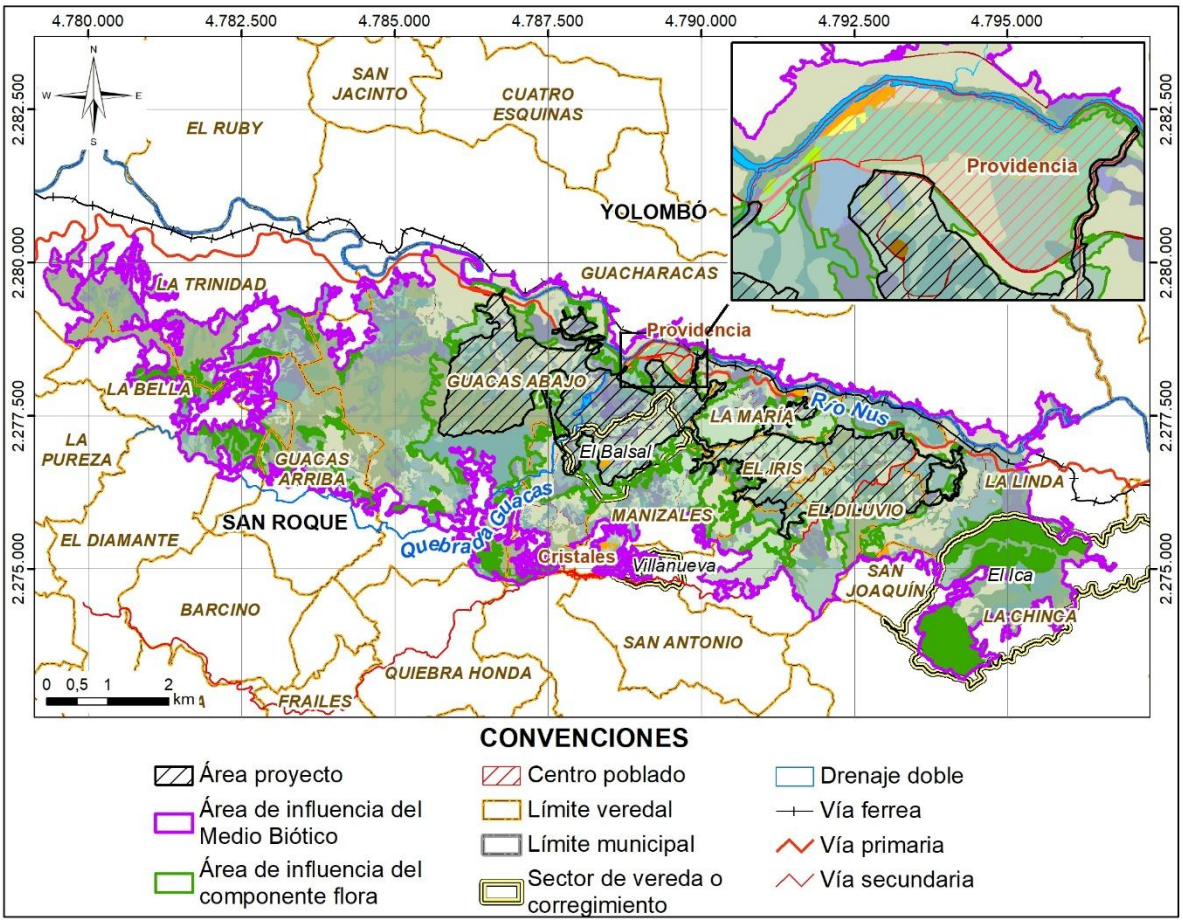


Figura 2.27 Ecosistemas presentes en el área de influencia biótica.

Fuente: IDEAM, 2024; Integral S.A., 2026



Figura 2.28 Leyenda de la figura de ecosistemas presentes en el área de influencia biótica.

Fuente: IDEAM, 2024; Integral S.A., 2026

Para la construcción del mapa de ecosistemas a escala 1:25.000 se aplicó el procedimiento establecido en la memoria técnica del IDEAM (2017), fundamentado en la superposición e integración de variables climáticas, geopedológicas, de coberturas de la tierra, unidades bióticas y regionalización biogeográfica, con el propósito de definir unidades ecosistémicas acordes con la configuración ecológica del territorio. A continuación, se describen los componentes considerados.

(i) Componente climático, para la caracterización climática se empleó la clasificación de Caldas-Lang, la cual permite determinar las condiciones térmicas y de humedad del territorio a partir de la relación entre temperatura, precipitación y altitud, constituyéndose en un factor estructurante de la distribución de los ecosistemas (IDEAM, 2017)

Para este análisis se utilizó la capa de zonificación climática basada en la clasificación de Caldas-Lang a escala 1:100.000, elaborada por IDEAM a partir de series históricas de temperatura y precipitación, integradas con información altitudinal (véase la Figura 2.29).

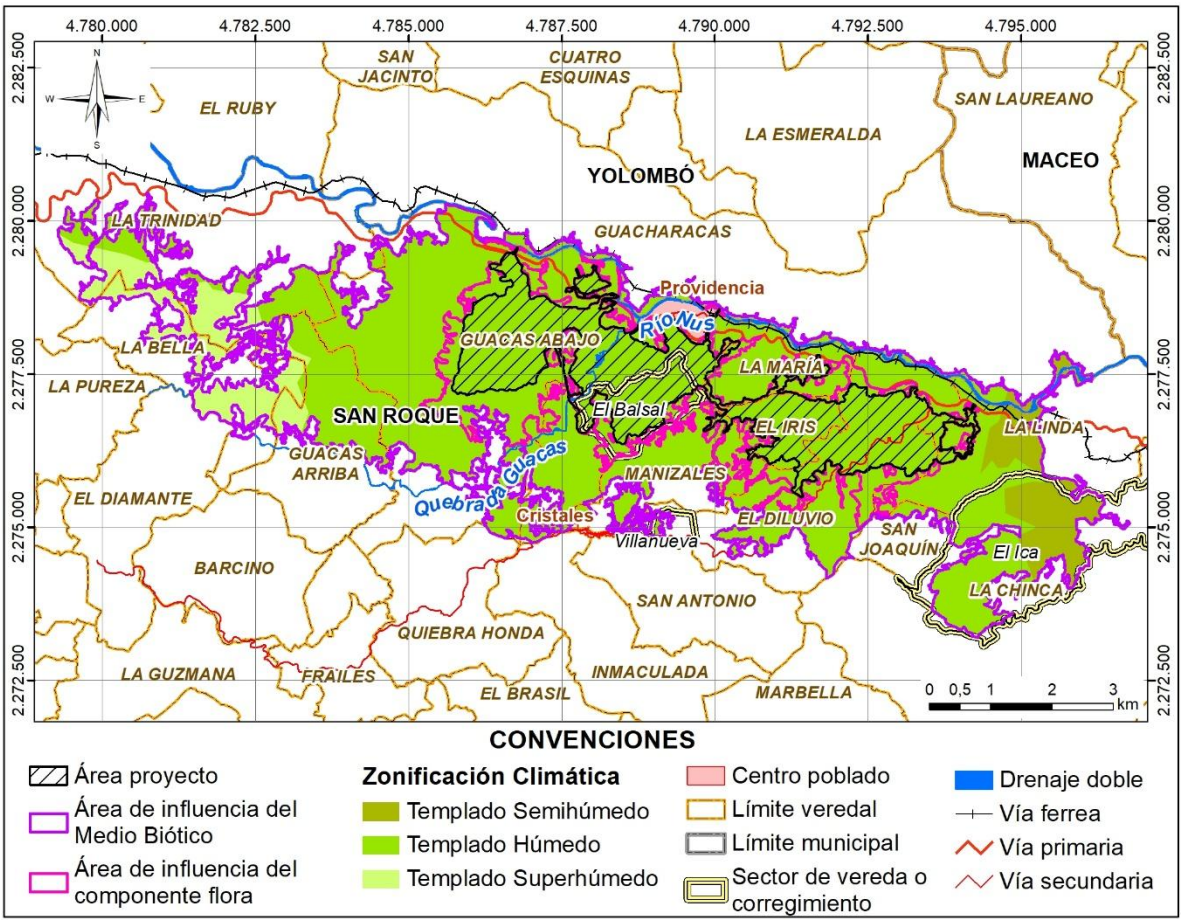


Figura 2.29 Clasificación climática de Caldas-Lang para el área de influencia biótica.

Fuente: IDEAM, 2024 IDEAM, 2024; Integral S.A., 2026

(ii) Componente geopedológico, el componente geopedológico se abordó a partir de la relación entre geomorfología y pedología, variables que inciden en el origen, organización y diferenciación espacial de las unidades ecosistémicas.

Para este análisis se empleó el "Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Antioquia" (IGAC, 2007), el levantamiento de suelos del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote (GCL, 2015), el modelo de sombras construido a partir de las curvas de nivel cada 5 m, la fotointerpretación y verificación en campo, a una escala de 1:10.000.

En la Figura 2.30 se presentan los paisajes geomorfológicos y en la Figura 2.31 los ambientes edafogenéticos (suelos), presentes en el área de influencia biótica del proyecto.

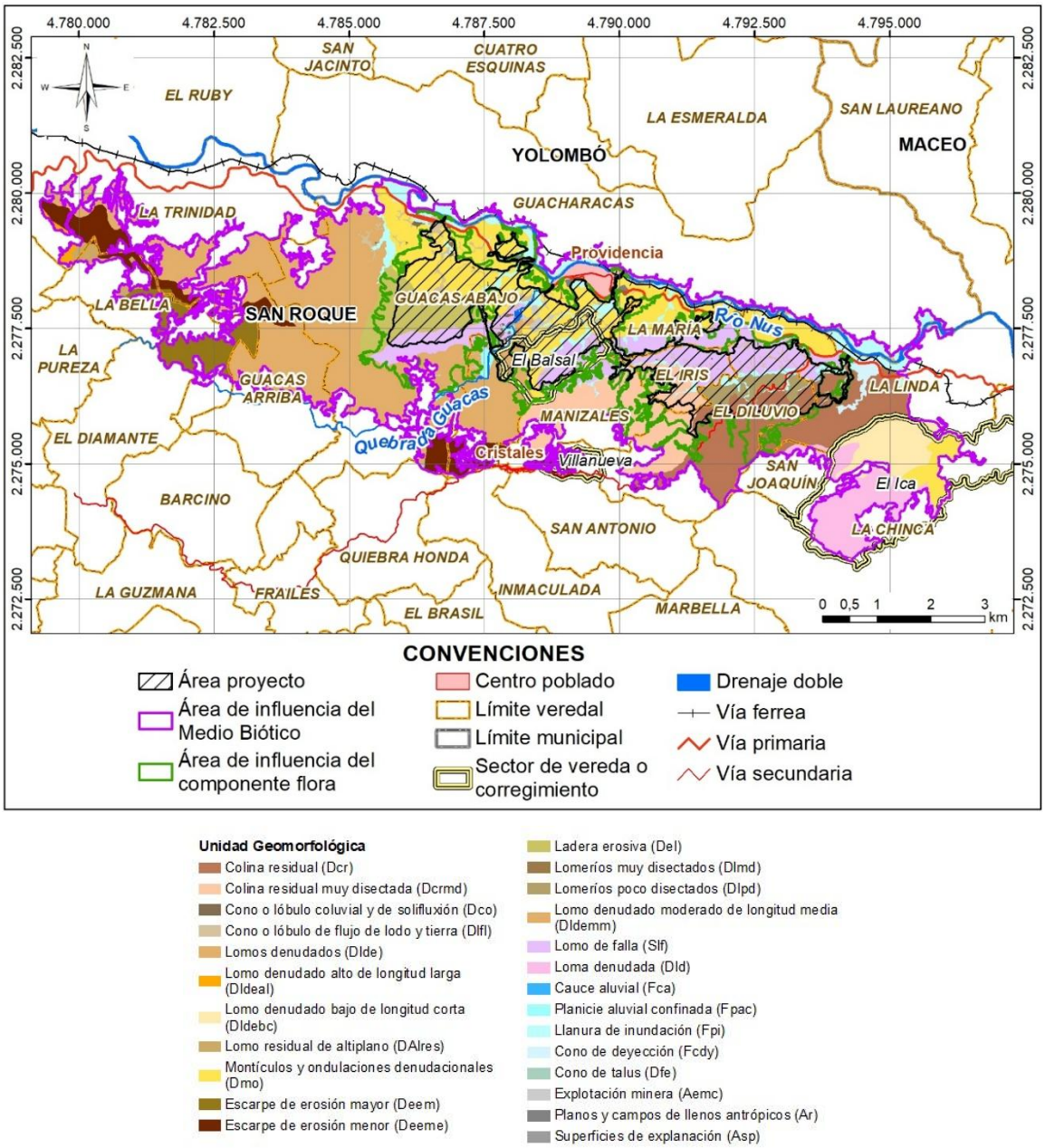


Figura 2.30 Paisajes geomorfológicos presentes en el área de influencia biótica.

Fuente: Integral S.A., 2026

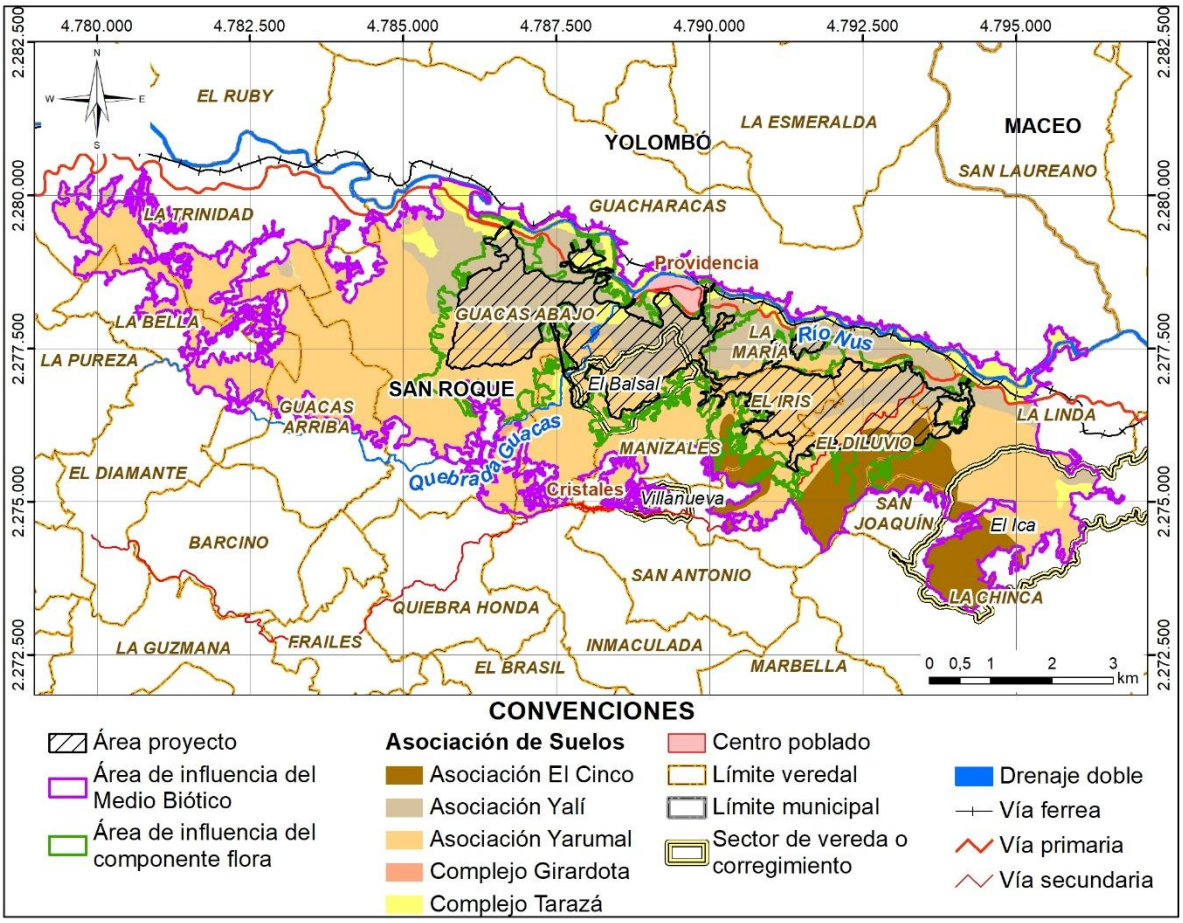


Figura 2.31 Ambientes edafogenéticos (suelos) presentes en el área de influencia biótica.

Fuente: IGAC, 2007 & GCL, 2015; Integral S.A., 2026

(iii) Componente de coberturas de la tierra, para la identificación de las coberturas de la tierra se adoptó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, utilizada para describir, caracterizar, clasificar y comparar las coberturas superficiales mediante imágenes satelitales y verificación en campo (IDEAM, 2017; IDEAM, 2010).

La fotointerpretación se realizó a escala de trabajo 1:7.500, con una unidad mínima cartografiable de 0,14 ha, utilizando el software ArcMap 10.8 y una imagen satelital ortorrectificada capturada por el satélite EarthScanner - JL-1KF01, los días 20 y 23 de julio de 2023. La imagen presenta una resolución espacial de 0,50 metros/píxel, cuatro (4) bandas espectrales (Azul, Verde, Rojo y NIR), resolución radiométrica de ocho (8) bits, ángulo de toma ≤ 20°, y procesamiento ortorrectificado con RPCs y modelo digital de elevación (DEM).

La interpretación fue complementada con verificaciones en campo realizadas entre febrero y julio de 2025, así como en julio de 2026 en atención al requerimiento 25 y con base en las evidencias recopiladas durante la visita de la autoridad ambiental. Estas actividades tuvieron como propósito mejorar la clasificación temática y la delimitación de las coberturas empleadas en la construcción de las unidades ecosistémicas.

En la Figura 2.32 se presentan las coberturas de la tierra presentes en el área de influencia biótica.

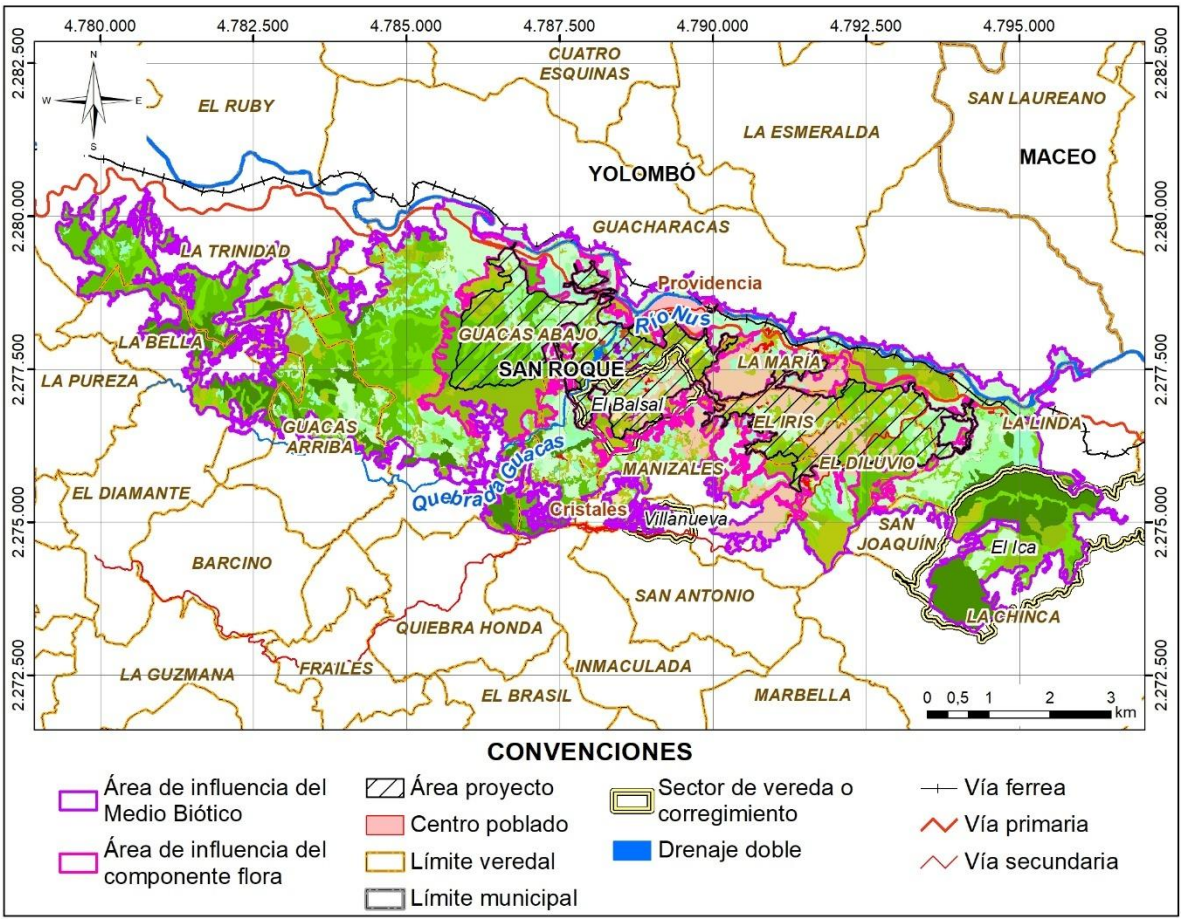


Figura 2.32 Coberturas de la tierra presentes en el área de influencia biótica.

Fuente: Integral S.A., 2026

(iv) Componente de unidades bióticas, se tomó como referencia el MEC (2024), elaborado a escala 1:100.000. Esta variable permite incorporar los patrones generales de composición, estructura y distribución de la biodiversidad en el proceso de delimitación de los ecosistemas.

En el área de influencia biótica se identificó la unidad biótica Nechí – San Lucas, dentro de la cual se desarrollan los ecosistemas objeto del presente análisis (véase la Figura 2.33).

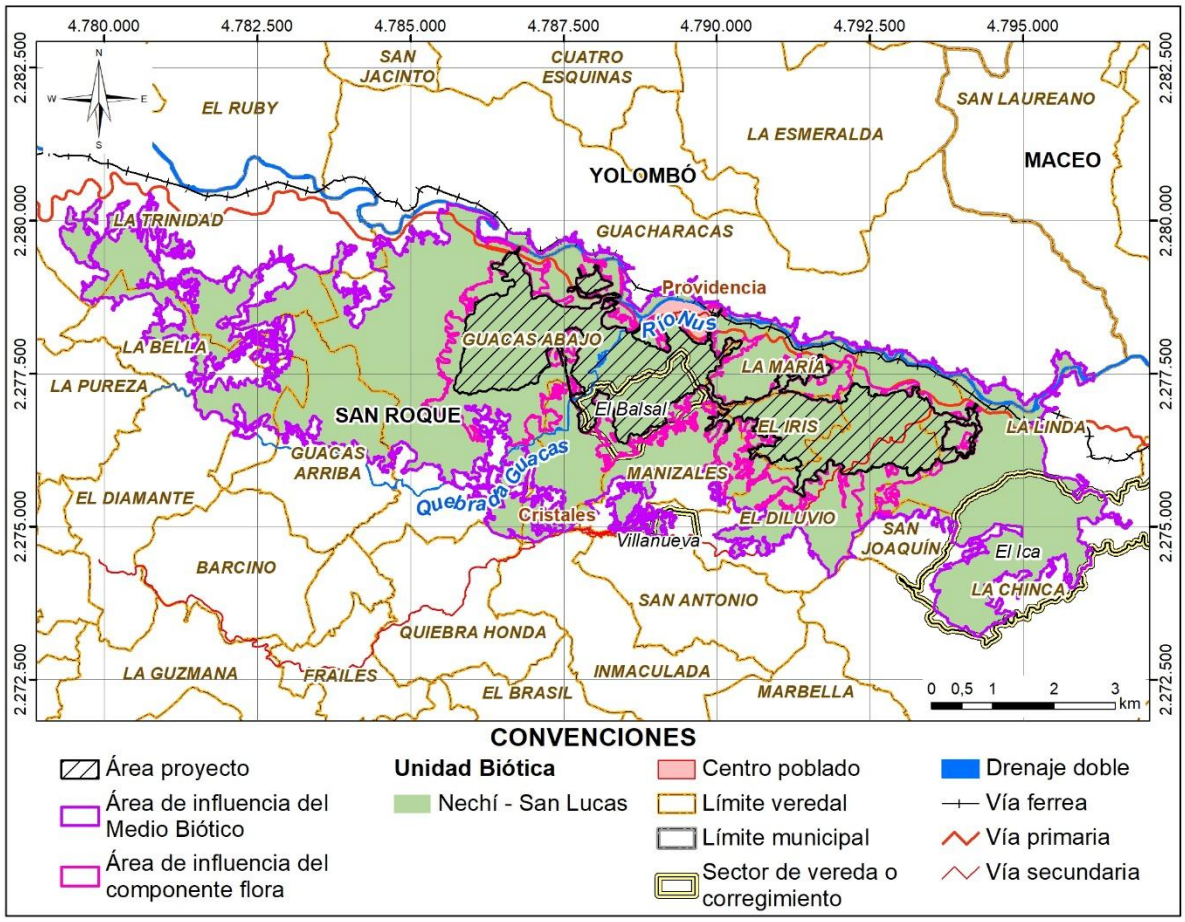


Figura 2.33 Unidad biótica presente en el área de influencia biótica.

Fuente: IDEAM, 2024/ Integral S.A., 2026

(v) Regionalización biogeográfica, la regionalización biogeográfica se tomó igualmente del MEC (2024), a escala 1:100.000. Este componente permite establecer el contexto territorial en el que las comunidades biológicas y reconocer los factores ambientales que condicionan su presencia. Es importante mencionar que las presiones antrópicas constituyen un factor determinante en los patrones de distribución, así como en los requerimientos ecológicos de las especies, al modificar la disponibilidad de hábitat, los gradientes ambientales y las dinámicas ecosistémicas.

En el área de influencia biótica se identificaron los biomas Helobioma Nechí–San Lucas, Hidrobioma Nechí–San Lucas y Orobioma Subandino Nechí–San Lucas (véase la Figura 2.34).

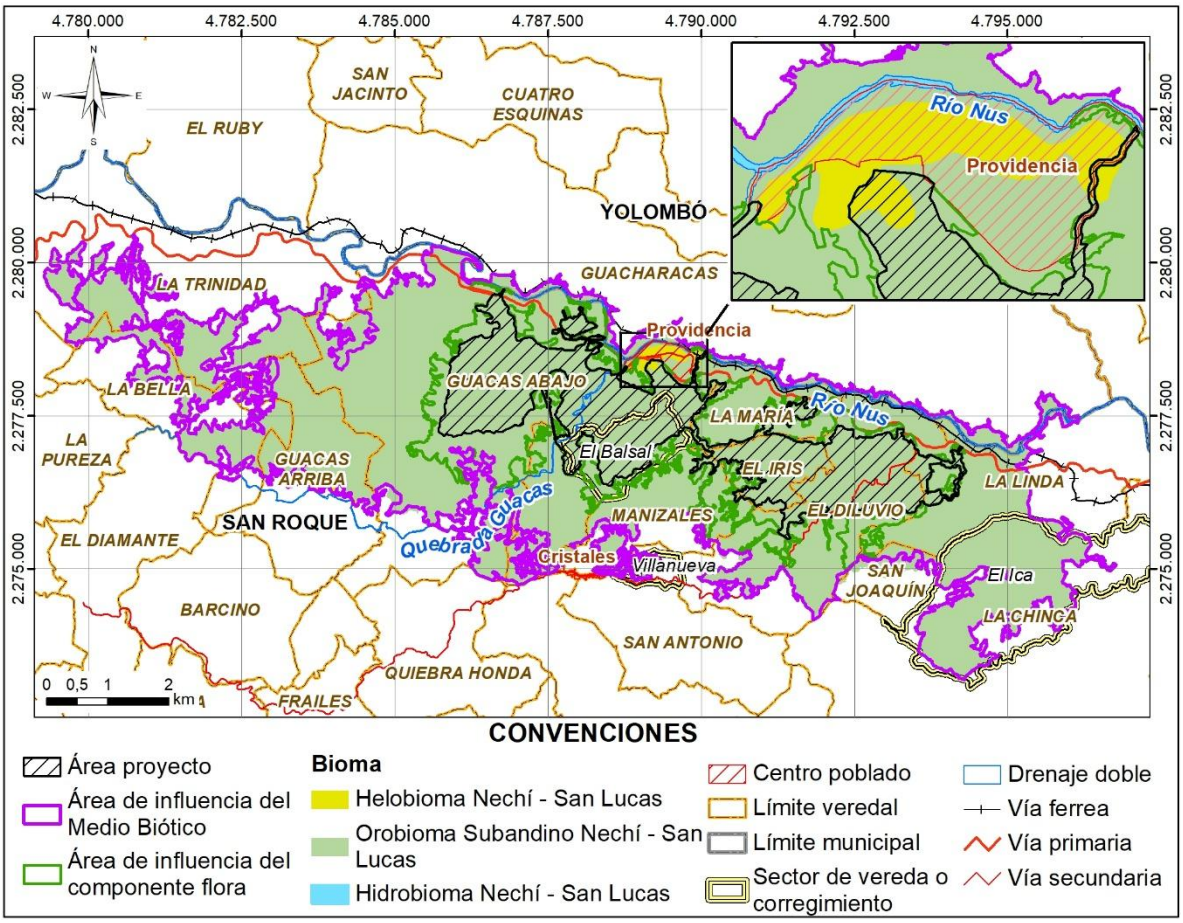


Figura 2.34 Regionalización biogeográfica presente en el área de influencia biótica.

Fuente: IDEAM, 2024/ Integral S.A., 2026

(VI) Integración de capas, a partir de las variables descritas se prepararon, estandarizaron y recortaron las capas temáticas al límite del área de influencia biótica del proyecto. Posteriormente, se realizó su integración espacial siguiendo el procedimiento metodológico establecido por el IDEAM (2017), como se presenta en la Figura 2.35.



Figura 2.35 Diagrama metodológico para la construcción del mapa de ecosistemas terrestres.

Donde, CLC: Corine Land Cover.

Fuente: IDEAM, 2017

En una primera etapa se integraron la zonificación climática de Caldas-Lang, los paisajes geomorfológicos y los ambientes edafogenéticos (suelos), consolidando la interacción entre el componente climático y el componente geopedológico (véase la Figura 2.36).

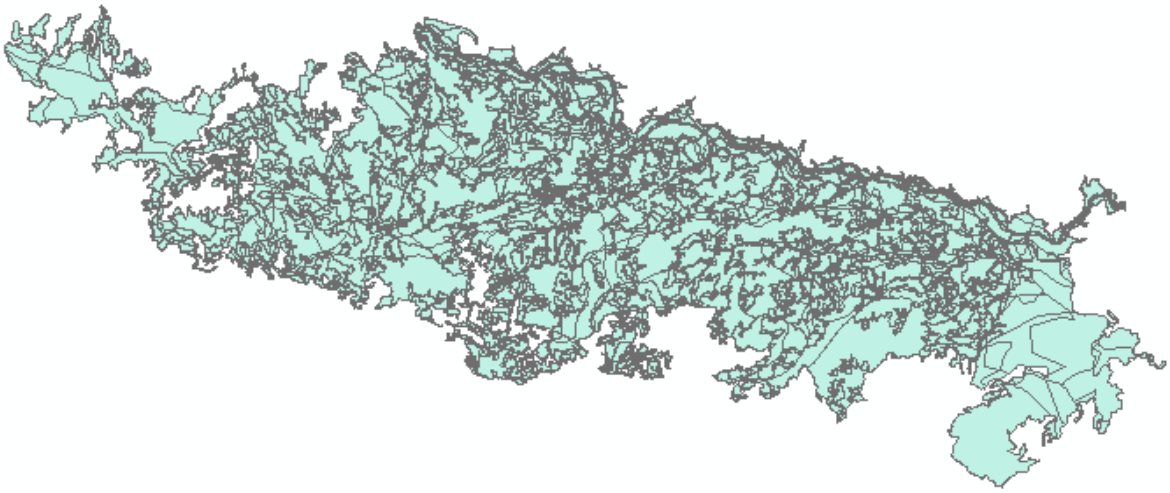


Figura 2.36 Cruce entre componente climático y componente geopedológico.

Fuente: IDEAM, 2024; IGAC, 2007; GCL, 2015 & Integral 2026

Posteriormente, el resultado fue integrado con la capa de coberturas de la tierra, la cual aportó un mayor nivel de detalle sobre la expresión fisonómica de la vegetación, los usos actuales del suelo y los procesos de transformación del territorio. Este procedimiento permitió precisar la delimitación de las unidades ecosistémicas de acuerdo con las condiciones observadas a escala local (véase la Figura 2.37).

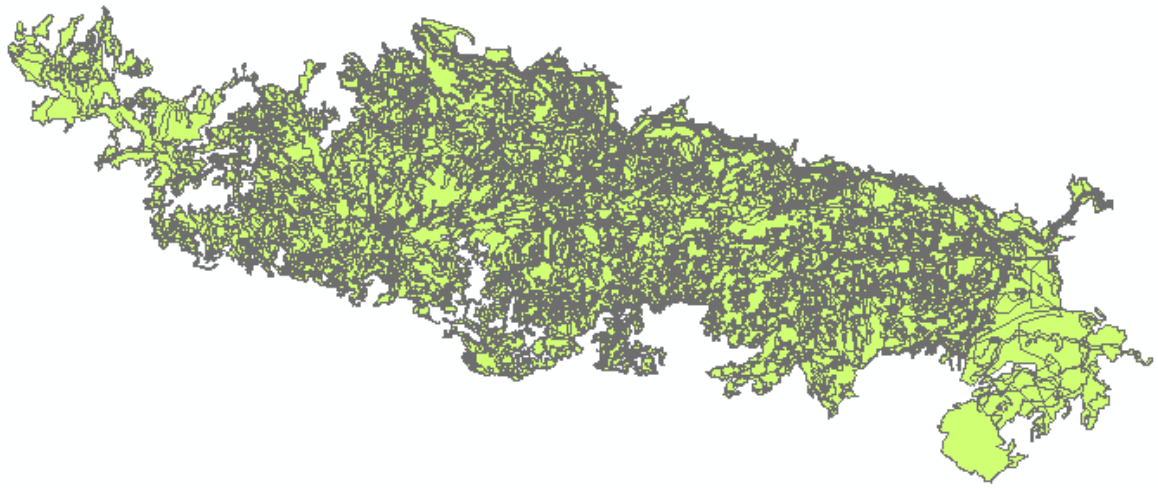


Figura 2.37 Cruce entre integración del componente climático y el componente geopedológicos con el componente de coberturas de la tierra.

Fuente: IDEAM, 2024; IGAC, 2007; GCL, 2015 & Integral 2026

Finalmente, se incorporaron las capas de unidades bióticas y regionalización biogeográfica, con el propósito de integrar los patrones de distribución de la biodiversidad y el contexto biogeográfico en la delimitación final (véase la Figura 2.38).

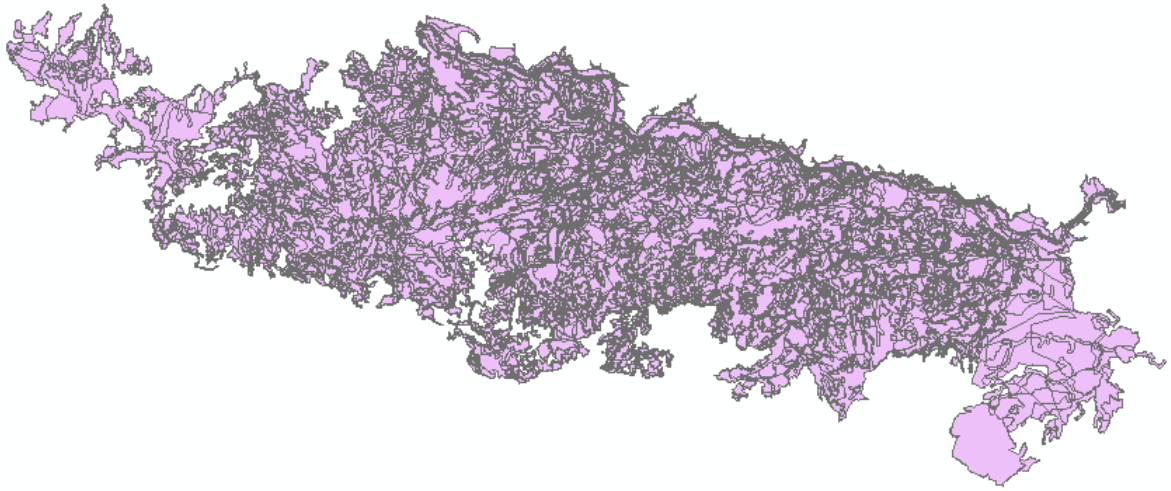


Figura 2.38 Cruce entre integración de componente climático, geopedológicos y coberturas de la tierra con el componente de unidades bióticas y regionalización biogeografica.

Fuente: IDEAM, 2024; IGAC, 2007; GCL, 2015 & Integral 2026

Como resultado de este procedimiento se obtuvo la capa de ecosistemas del área de influencia biótica a escala 1:25.000, construida conforme a la metodología oficial del IDEAM. La capa resultante mantiene la correspondencia con los tres biomas identificados en el MEC 2024, pero mejora su precisión espacial mediante la incorporación de información climática, geopedológica y de coberturas de la tierra de mayor detalle.

En particular, la integración de los insumos permitió definir de manera más precisa la delimitación del Helobioma Nechí–San Lucas, ajustando sus límites a las condiciones locales de relieve, drenaje, suelos y dinámica hídrica identificadas en el área de estudio. De esta manera, la cartografía obtenida conserva la clasificación ecosistémica oficial y, al mismo tiempo, representa con mayor precisión las condiciones biofísicas presentes en el área de influencia biótica del proyecto.

2.3.4.1.2 Coberturas Terrestres

Para la caracterización de las coberturas de la tierra en el área de influencia del medio biótico, se llevó a cabo una fotointerpretación a escala de trabajo 1:7.500, con una unidad mínima cartografiable de 0,14 ha, y con base en la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Dicha interpretación fue realizada bajo el *software ArcMap 10.8* a partir de una imagen satelital ortorrectificada capturada por el satélite *EarthScanner - JL-1KF01*, los días 20 y 23 de julio de 2023. La imagen cuenta con una resolución espacial de 0,50 metros/píxel, resolución espectral de cuatro (4) bandas (Azul, Verde, Rojo y NIR), resolución radiométrica de ocho (8) bits, ángulo de toma ≤ 20°, y procesamiento ortorrectificado con *RPCs* y modelo digital de elevación (DEM).

La capa de coberturas de la tierra posteriormente fue verificada en campo entre febrero y julio de 2025, julio de 2026 y actualizadas según correspondía dentro del área de intervención de proyecto (véase el ANEXOS_GENERALIDADES_FLORA_VERIFICACION_COBERTURAS). Finalmente, las coberturas terrestres de cada bioma se cuantificaron y describieron teniendo en cuanta su localización, estructura, composición y grado de perturbación.

2.3.4.1.3 Ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas

Las áreas protegidas en Colombia son espacios geográficos definidos que han sido designados, regulados y administrados para alcanzar objetivos específicos de conservación, como la preservación de la biodiversidad, la protección de ecosistemas y la regulación del uso de los recursos naturales.

Teniendo en cuenta la definición anterior, la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales del (MADS, 2018) y los Términos de Referencia – EIA – Proyectos de explotación minera (2016), se realizó el cruce cartográfico con el fin de evaluar la presencia de ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas en el área de influencia del medio biótico para la modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, mediante la validación de información cartográfica pública y el uso de aplicativos oficiales proporcionados por las autoridades ambientales competentes.

2.3.4.1.4 Flora

Con el fin de caracterizar la riqueza, estructura y diversidad de las comunidades vegetales en el área de influencia del proyecto, se implementaron metodologías apropiadas para cada

cobertura vegetal. A continuación, se describen las metodologías de caracterización de las comunidades de flora terrestre, flora epífita y de otros hábitos.

A. Flora terrestre

A continuación, se describen las metodologías de caracterización para las comunidades de flora terrestre en el área de influencia del proyecto en sus fases previa, de muestreo y de análisis.

a. Fase previa

Con el fin de conocer las especies vegetales con posible presencia en el área de influencia del proyecto, se realizó una búsqueda en diversas fuentes especializadas. Para ello, se consultó la base de datos del proyecto *Catálogo de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia* (Idarraga Piedrahita & Ortiz, 2011), disponible en línea en el portal *Trópicos* del Missouri Botanical Garden; también se consultó el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia – SiB Colombia (2025), el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA, 2025) y las bases de datos del Global Biodiversity Information Facility – GBIF (2025). Las búsquedas se realizaron aplicando filtros geográficos y altitudinales, de acuerdo con las funciones disponibles en cada plataforma. Cuando fue posible, se restringieron al municipio de San Roque (Antioquia). En otros casos, el criterio se amplió a todo el departamento de Antioquia limitando los resultados con un rango altitudinal entre los 500 y 1.500 msnm. Adicionalmente, en el *Catálogo de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia* (Ídarraga Piedrahíta, Ortiz, Callejas Posada, & Merello, 2011), la búsqueda se acotó a registros correspondientes a la vertiente oriental de la cordillera Central, con el fin de aproximar aún más la representación florística al contexto ecológico del área de estudio. Esta ruta permitió consolidar un listado de especies que sirvió para generar análisis específicos sobre la flora potencial.

En cuanto a las categorías de amenaza de las especies de flora potencial para el área de influencia del proyecto, se revisó la Resolución 0213 de 1977 del INDERENA mediante la cual se establecen las regulaciones sobre la protección de plantas silvestres en Colombia, definiendo especies protegidas y prohibiendo el uso y aprovechamiento de estas sin los permisos adecuados. Además, se revisó la Resolución 801 de 1977 del INDERENA, que declara protegida y en veda para el territorio nacional individuos pertenecientes a la familia Cyatheaceae. Así mismo, con el fin de validar las especies con veda regional para la jurisdicción de CORNARE, se consultó el Acuerdo 404 de 2020. Adicionalmente, con el objetivo de establecer el listado de especies amenazadas para el área de influencia del proyecto, se revisó la Resolución 0126 de 2024 del MADS.

b. Fase de muestreo

Con el fin de caracterizar con información primaria los diferentes grupos y comunidades de la flora terrestre en el área de influencia del proyecto se aplicaron diversas metodologías, contempladas dentro del Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales RE-01318-2024 del 24 de abril de 2024 otorgada por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare “CORNARE” para la empresa INTEGRAL S.A. durante la caracterización de la presente modificación. Adicionalmente, para la atención de los requerimientos de información adicional, se implementaron las metodologías de muestreo y los protocolos de recolección de especímenes botánicos desarrolladas y amparados bajo el permiso de estudio para recolección de especies

silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales Resolución 1715 del 13 de agosto de 2024 emitido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA (véase ANEXOS_GENERALIDADES_PRE).

A continuación, se describen las metodologías empleadas en la fase de muestreo para cada grupo vegetal caracterizado.

I. Censo forestal

El censo forestal consistió en el registro de todos los individuos presentes dentro del área de intervención del proyecto, cuyo fuste tuviera un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 10,00 cm, o una circunferencia a la altura del pecho (CAP) igual o superior a 31,40 cm, a los cuales se les estimó la altura total y comercial en metros (m).

Cada uno de estos individuos fue georreferenciado mediante dispositivos GPS y marcado con pintura asfáltica amarilla para facilitar su visualización. La numeración empleada correspondió a un código alfanumérico único, compuesto por la letra N que identifica el muestreo, seguida por la letra de cada cuadrilla de trabajo (por ejemplo: NX, NY, NZ, NW, etc.) y un número consecutivo asignado a cada individuo muestreado. En los casos en que un mismo individuo presentaba múltiples ramificaciones, estas fueron marcadas con letras mayúsculas en orden alfabético (A, B, C, D, etc.). Estas reiteraciones no fueron consideradas como individuos independientes, por tanto, no se incluyeron en los análisis de riqueza y abundancia de especies. Toda la información fue consignada en formularios diseñados para este fin, utilizando la aplicación *Fulcrum* (véase la Fotografía 2.15).

La identificación taxonómica de los individuos registrados en el muestreo se realizó en campo hasta el nivel más específico posible; sin embargo, para los morfotipos con dudosa determinación, las muestras fueron colectadas con ayuda de herramientas como corta ramas y machete; cada muestra fue rotulada y guardada en bolsas plásticas. Posteriormente, estas fueron herborizadas y preservadas para su determinación en el herbario, disponiendo cada espécimen botánico en papel periódico previamente codificado con el rotulo de la muestra. Una vez prensado el material, las colectas fueron dispuestas en bolsas plásticas e impregnadas con alcohol a una concentración del 70%. Luego las muestras fueron selladas, embaladas y movilizadas vía terrestre hasta el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), donde fueron tratadas e identificadas por especialistas botánicos. Para el caso de especies muy comunes como algunos frutales, la identificación fue posible directamente en campo, por lo que no se efectuó la recolección de ejemplares.

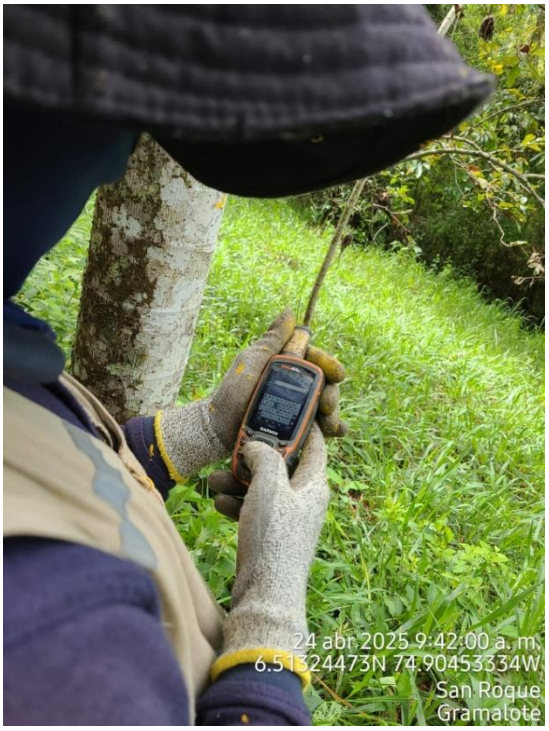
Teniendo en cuenta que la presente modificación corresponde a una nueva fase de ejecución del proyecto. Algunas especies contaron con determinaciones taxonómicas previamente realizadas sobre material colectado en el área del proyecto. En estos casos, las determinaciones existentes fueron revisadas y homologadas con el listado de especies reportado anteriormente, tomando como soporte los certificados emitidos por los herbarios Jardín Botánico "Joaquín Antonio Uribe" de Medellín (JAUM) y Universidad de Antioquia (HUA).


24 ene 2025 9:22:49 a. m.
6.49809219N 74.88468524W
Gramalote


24 ene 2025 11:37:17 a. m.
6.49789455N 74.88453938W
Gramalote




10719_MEIA2_Gramalote
DINEROS EN HIPOTECA:
1.5% RAPIDAMENTE
06/05/2025
NDE302
(DMF186)





Fotografía 2.15 Medición, marcaje de fustales y muestras

Fuente: Integral S.A., 2025

Cabe destacar que el censo forestal se realizó para todas las coberturas antropizadas presentes en el Proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote: pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, cultivos permanentes herbáceos – caña, mosaico de cultivos, tejido urbano continuo, urbano discontinuo, zonas de extracción minera y zonas industriales o comerciales. También es necesario mencionar que debido a que el bosque de galería y/o ripario, la vegetación secundaria alta y la vegetación secundaria baja, del Helobioma Nechí San Lucas, presentan un área reducida y con poca densidad arbórea con un DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor o igual a 10 cm, no se pudo establecer parcelas de caracterización que permitan calcular un error menor al 15% con una confianza del 95% por lo tanto, también se realizó censo forestal al 100% sobre esta cobertura.

II. Parcelas de caracterización y de regeneración

A continuación, se presenta la metodología implementada para el muestreo de parcelas de caracterización y parcelas de regeneración.

i. Parcelas de caracterización

Con el fin de evaluar la composición, estructura y volumen de las coberturas naturales y seminaturales presentes en el área de influencia biótica del proyecto, como bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y/o ripario, bosque denso alto, vegetación secundaria alta y vegetación secundaria baja, se realizó un muestreo estadístico en el que se determinó el número de unidades de muestreo necesarias para alcanzar un error de estimación del volumen total de madera inferior al 15%, con un nivel de confianza del 95%.

Para ello se establecieron parcelas de caracterización temporales y de forma rectangular con un área de 200 m² (20 m x 10 m), y unidades de análisis de mínimo 0,1 ha, basadas en la metodología RAP (Rapid Assessment Plot) de Gentry (Gentry, Patterns of neotropical plant species diversity. Evolutionary Biology. Hecht, Wallace and Prance, 1982), que permiten caracterizar la flora terrestre de las comunidades vegetales en sus diferentes categorías de desarrollo (fustal, latizal y brinzal). Cada parcela se delimitó tomando como referencia un eje central fijado al primer árbol, el cual fue georreferenciado e incorporado dentro de la parcela. A partir de este eje, se midieron cinco (5) metros a cada lado para establecer los límites de la parcela. En estas parcelas se registró la presencia de individuos fustales (DAP ≥ 10 cm o (CAP) ≥ 31,4 cm), a los cuales se le midió la circunferencia a la altura del pecho (CAP) y se les estimó la altura total (ht) y la altura comercial (hc). A medida que las parcelas se ejecutaban, se implementó un proceso de verificación de las variables dasométricas para estimar el error de muestreo. De esta forma, se calculó progresivamente el número de parcelas requeridas para lograr la completitud de este.

Así mismo, para evaluar la regeneración natural al interior de la parcela se estableció una subparcela de 100 m² (20 m x 5 m) en donde se registraron los individuos pertenecientes a la categoría latizal (5 cm < DAP >9,9 cm o 15,7 cm ≥ CAP < 31,4 cm), a estos se les midió el CAP y se estimó su altura total. Finalmente, para muestrear los brinzales (DAP ≤ 4,9 cm o CAP < 15,7 cm), se realizó una subparcela de 4 m² (2 m x 2 m) dentro de la parcela, donde se registró la abundancia y la altura promedio por morfoespecie. Esta subparcela se ubicó en uno de los extremos de la subparcela destinada para los latizales.

En la Figura 2.40 se presenta el esquema de distribución de la parcela para fustales y de las subparcelas para latizales y brinzales. Todas las parcelas fueron georreferenciadas en el primer árbol utilizando dispositivos GPS. Adicionalmente, se registró el azimut correspondiente a cada unidad de muestreo.

Cada individuo fustal y latizal registrado dentro de las parcelas fue marcado con pintura asfáltica amarilla para facilitar su visualización, utilizando un código alfanumérico único compuesto por la letra N seguida por la letra asignada a cada cuadrilla de trabajo y la P que describe que el muestreo corresponde a una parcela de caracterización, luego el número de la parcela, un guion y el consecutivo de los individuos (véase la Fotografía 2.2.17). En los casos en que un mismo individuo presentaba múltiples ramificaciones, estas fueron marcadas con letras mayúsculas en orden alfabético (A, B, C, D, etc.). Estas reiteraciones no fueron consideradas como individuos independientes, por tanto, no se incluyeron en los análisis de riqueza y abundancia de especies. Es importante mencionar que los individuos clasificados como brinzales no fueron marcados. Toda la información fue consignada en formularios diseñados para este fin, utilizando la aplicación *Fulcrum.*

La identificación taxonómica de los individuos registrados en el muestreo se realizó en campo hasta el nivel más específico posible. Además, algunos morfotipos fueron revisados y homologados con los listados de especies previamente determinadas para el proyecto, por parte de los herbarios Jardín Botánico "Joaquín Antonio Uribe" de Medellín (JAUM) y Universidad de Antioquia (HUA). Sin embargo, para los morfotipos con dudosa determinación, las muestras fueron colectadas con ayuda de herramientas como corta ramas y machete; cada muestra fue rotulada y guardada en bolsas plásticas.

Posteriormente, estas fueron herborizadas y preservadas para su determinación en el herbario, disponiendo cada espécimen botánico en papel periódico previamente codificado con el rotulo de la muestra. Una vez prensado el material, las colectas fueron dispuestas en bolsas plásticas e impregnadas con alcohol a una concentración del 70%.

Luego las muestras fueron selladas, embaladas y movilizadas vía terrestre hasta el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), donde fueron tratadas e identificadas por especialistas botánicos. Para el caso de especies muy comunes como algunos frutales, la identificación fue posible directamente en campo, por lo que no se efectuó la recolección de ejemplares.

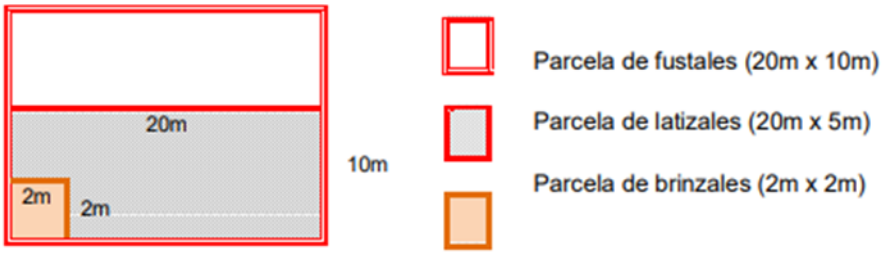


Figura 2.39 Esquema de parcelas de caracterización

Fuente: Integral S.A., 2025



Fotografía 2.16 Montaje y marcación de parcelas de caracterización

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Parcelas de regeneración

Adicionalmente, con el fin de analizar la regeneración natural presente en las coberturas antropizadas del área de influencia del proyecto tales como pastos limpios, pastos enmalezados y pastos arbolados, se establecieron parcelas temporales y rectangulares con un área de 100 m^2 (5m x 20m), en las cuales se registraron los individuos correspondientes a la categoría latizal. Dentro de cada parcela, se delimitó la subparcela de cuatro metros cuadrados (4m²) para el registro de los individuos brinzales de las coberturas mencionadas (véase la Figura 2.40).

La única excepción se presentó en el bosque de galería y/o ripario, la vegetación secundaria alta y la vegetación secundaria baja presente en el Helobioma Nechí San Lucas, cuya

superficie reducida impidió llevar a cabo un muestreo estadísticamente representativo. Sin embargo, se implementaron parcelas de regeneración en la cobertura con el fin de evaluar la regeneración natural del bioma.

Es importante mencionar que no se incluyeron parcelas de regeneración en coberturas como cultivos permanentes herbáceos (caña), mosaico de cultivos, zonas de extracción minera, zonas industriales o comerciales, tejido urbano continuo ni en tejido urbano discontinuo, debido a que estas coberturas presentan un alto grado de intervención y manejo antrópico intensivo, lo cual limita significativamente los procesos de regeneración natural. Adicionalmente, para el bosque de galería y/o ripario y la vegetación secundaria alta presentes en el Helobioma Nechí – San Lucas, no se levantó información de regeneración natural, en la medida que estas áreas se localizan por fuera de la huella de intervención y no serán objeto de remoción de las coberturas vegetales ni de aprovechamiento forestal, por lo que no se prevé afectación sobre el banco de plántulas ni sobre los procesos de reclutamiento y recambio que sostienen la dinámica sucesional de la cobertura.

Cada individuo latizal registrado dentro de las parcelas de regeneración fue marcado con pintura asfáltica amarilla para facilitar su visualización, utilizando un código alfanumérico único compuesto por la letra N seguida por la letra asignada a cada cuadrilla de trabajo y las PR que describe que el muestreo corresponde a una parcela de regeneración, luego el número de la parcela, un guion y el consecutivo de los individuos (véase la Fotografía 2.2.17). En los casos en que un mismo individuo presentaba múltiples ramificaciones, estas fueron marcadas con letras mayúsculas en orden alfabético (A, B, C, D, etc.). Estas reiteraciones no fueron consideradas como individuos independientes, por tanto, no se incluyeron en los análisis de riqueza y abundancia de especies. Es destacable mencionar que los individuos clasificados como brinzales no fueron marcados. Toda la información fue consignada en formularios diseñados para este fin, utilizando la aplicación *Fulcrum.*

La identificación de los especímenes y manejo de colecciones botánicas se realizó de la misma forma como se describe en Parcelas de caracterización.



Figura 2.40 Esquema de parcelas de regeneración

Fuente: Integral S.A., 2025



Fotografía 2.2.17 Montaje y marcación de parcelas de regeneración

Fuente: Integral S.A., 2025

III. Guaduales y bambusales

Con base en lo dispuesto en la Resolución 1740 del 24 de octubre de 2016, por la cual se establecen los lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales, se definieron dos metodologías de muestreo según el área que estos ocupaban.

- Guaduales y bambusales con superficie de área menor a 500m^2

Para los guaduales con áreas menores a 500m^2, el muestreo consistió en la georreferenciación de un centroide del guadual o bambusal mediante un receptor GPS.

Se identificó la especie botánica correspondiente y se determinó la cantidad de culmos o tallos presentes por estado de madurez así, renuevos para los tallos emergentes del suelo, producto de la propagación vegetativa y aún cubiertos por hojas caulinares de color café oscuro sin ramas ni hojas laterales; verdes para aquellos tallos verdes brillantes con hojas y ramas, nudos de color blanco intenso, sin hojas caulinares en la base y con pérdida progresiva de las mismas; maduras que corresponden a culmos verdes amarillentos, con manchas grisáceas bajas debido a la presencia de líquenes; sobremaduras que se refiere a culmos verdes amarillentos con manchas grisáceas altas y una coloración gris predominante; y finalmente las secas que corresponden a culmos amarillos sin actividad fisiológica. Adicionalmente, se registraron medidas dasométricas promedio como el CAP (circunferencia a la altura del pecho) y la altura total (ht) en varios individuos elegidos al azar, con el fin de obtener promedios representativos del guadual o bambusal.

Cada guadual fue marcado en un único culmo, con pintura asfáltica de color amarillo, utilizando un código alfanumérico único compuesto por la letra N seguida por la letra asignada a cada cuadrilla de trabajo y la G que describe que el muestreo corresponde a un guadual, luego del número consecutivo de los guaduales muestreados.

- Guaduales y bambusales con superficie mayor a 500m^2

Para guaduales con áreas superiores a 500 m^2, se registró su ubicación utilizando GPS y se implementó un muestreo mediante parcelas cuadradas de 100 m^2 (10 m x 10 m). En cada parcela se determinó la especie botánica, el estado de madurez de los culmos y se

registraron datos dasométricos promedio como el CAP (circunferencia a la altura del pecho) y la altura total (ht).

Cada parcela del guadual fue marcada en un único culmo mediante pintura asfáltica amarilla, utilizando un código alfanumérico único. Este código inició con la letra N, seguida por la letra correspondiente a la cuadrilla de trabajo, la G, que indicó que el muestreo correspondía a un guadual y el número consecutivo asignado. Posteriormente, separado por un guion se incluyó la letra P para señalar que se trató de una parcela, seguida de su número consecutivo (véase la Fotografía 2.18).



Fotografía 2.18 Marcación y montaje del muestreo de guaduales y bambusales

Fuente: Integral S.A., 2025

IV. Especies de árboles y arbustos con restricción o veda a nivel nacional o regional

Con el fin de determinar las especies de flora vascular de porte arbóreo, arbustivo y los helechos arborescentes, que presentan alguna prohibición o restricción de uso o aprovechamiento, se identificaron aquellas especies sujetas a veda tanto a nivel nacional como regional, bajo la jurisdicción de CORNARE. Para este propósito, se revisaron los actos administrativos que regulan las vedas nacionales, con la búsqueda de aquellas especies con distribución probable en el área del proyecto, se incluyó la Resolución 0316 de 1974 del INDERENA, la Resolución 0213 de 1977 del INDERENA y la Resolución 801 de 1977 del INDERENA. Así mismo, se validó en el Acuerdo 0404 de 2020 las especies en veda regional, que regula la jurisdicción de CORNARE.

A continuación, se describen las metodologías que se implementaron para caracterizar las comunidades de flora en veda.

i. Categoría de fustales

Las especies vedadas registradas en el área de influencia del proyecto fueron identificadas mediante búsquedas exhaustivas en cada uno de los ecosistemas presentes en el área de

intervención del proyecto, con el objetivo de censar todos los individuos fustales con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm incluidos en los listados de veda nacional y/o regional. Además, en este caso se incluyó el registro específico de los helechos arborescentes, se siguieron los lineamientos establecidos en la Circular 8201 del 2 de diciembre de 2019, la cual indica el censo de todos los individuos con una altura igual o superior a dos (2) metros.

Cada uno de estos individuos fue georreferenciado mediante dispositivos GPS y marcado con pintura asfáltica amarilla para facilitar su visualización. La numeración empleada correspondió a un código alfanumérico único compuesto por la letra N, seguida por la letra de cada cuadrilla de trabajo y luego la letra V que identifica el muestreo correspondiente a vedas de individuos fustales, además de un número consecutivo asignado a cada individuo muestreado (véase la Fotografía 2.19). Toda la información fue consignada en formularios diseñados para este fin, utilizando la aplicación *Fulcrum.*



Fotografía 2.19 Marcación de individuos fustales en veda

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Regeneración natural

El muestreo de la regeneración natural de especies en veda, tanto a nivel nacional como regional, se llevó a cabo mediante búsquedas exhaustivas en cada uno de los ecosistemas presentes en el área de intervención del proyecto con el objetivo de censar todos los individuos latizales y brinzales con un diámetro a la altura del pecho (DAP) inferior a 10 cm incluidos en los listados de veda nacional y/o regional. Además, para el caso específico de los helechos arborescentes, se siguieron los lineamientos establecidos en la Circular 8201 del 2 de diciembre de 2019, la cual indica el censo de todos los individuos con una altura menor a dos (2) metros.

- Cada uno de estos individuos fue georreferenciado mediante dispositivos GPS y marcado con pintura asfáltica amarilla para facilitar su visualización. La numeración empleada correspondió a un código alfanumérico único compuesto por la letra N, seguida por la letra de cada cuadrilla de trabajo y luego las letras VR que identifica el muestreo correspondiente a vedas en regeneración, además de un número consecutivo asignado a cada individuo muestreado, para los individuos de menor altura, cuya marcación directa no era viable, se utilizaron estacas identificadoras ubicadas junto a cada individuo (Véase la Fotografía 2.20). Toda la información fue consignada en formularios diseñados para este fin, utilizando la aplicación *Fulcrum.*



Fotografía 2.20 Marcación de individuos de regeneración en veda

Fuente: Integral S.A., 2025

V. Recolección de especímenes (muestras botánicas)

La identificación taxonómica de todos los individuos registrados en el muestreo se realizó en campo hasta el nivel más específico posible. Sin embargo, para los morfotipos con dudosa determinación, se recolectaron, herborizaron y embalaron colecciones botánicas representativas. Las muestras fueron colectadas con ayuda de herramientas como corta ramas, tijeras y machete; cada muestra fue rotulada y guardada en bolsas plásticas. Posteriormente, el material fue prensado siguiendo las técnicas establecidas en el Manual

de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad del IAvH (Villarreal H. Á., 2006), disponiendo cada espécimen botánico en papel periódico previamente codificado con el rotulo de la muestra. Una vez prensado el material, las colectas fueron dispuestas en bolsas plásticas e impregnadas con alcohol a una concentración del 70% (Véase Fotografía 2.21). Luego las muestras fueron selladas, embaladas y movilizadas vía terrestre hasta el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), cuyas colecciones de referencia están certificadas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos *Alexander Von Humboldt*. Este herbario realizó el secado y procesamiento de las muestras botánicas para su posterior identificación y certificación de depósito.

Las colecciones vegetales realizadas en este proyecto se encuentran amparadas por el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales RE-01318-2024 del 24 de abril de 2024 por la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare – CORNARE otorgado a Integral S.A.



Fotografía 2.21 Colección de muestras botánicas

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Fase de análisis

Finalizadas las actividades de campo, se procedió con el análisis de la caracterización florística del área de influencia teniendo en cuenta la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales estudiadas. A continuación, se describen las metodologías empleadas durante la fase de análisis.

I. Composición florística

La caracterización de la composición florística se realizó a partir de los datos obtenidos en campo, identificando los individuos presentes según su clasificación taxonómica en niveles de familia y especie. Además, se anotó para cada especie el nombre común, el hábito de crecimiento y el uso local de acuerdo con las categorías consignadas en el diccionario de datos geográfico (MADS; ANLA, 2016). Adicionalmente, para cada bioma, se cuantificó la abundancia absoluta de las especies teniendo en cuenta su categoría de desarrollo.

II. Diámetros y áreas basales

En campo se tomaron los datos de la circunferencia a la altura del pecho (CAP), medida tomada con cinta métrica. A partir de esta, se calcula el diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante la Ecuación 2.52.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Ecuación 2.52 Estimación del DAP

Fuente: Yepes Quintero *et al.*, 2011

Donde:

DAP: diámetro la altura del pecho.

CAP: circunferencia a la altura del pecho.

Para el área basal se empleó la Ecuación 2.53.

$$AB = \frac{\pi}{4} \times DAP^2$$

Ecuación 2.53 Estimación del área basal

Fuente: BOLFOR *et al.*, 2000

Donde:

AB: área basal.

DAP: diámetro a la altura del pecho.

III. Estimación del volumen

Se estimó el volumen de madera de los árboles fustales registrados en las parcelas de muestreo y en el censo forestal, para ello se midieron en campo los parámetros de diámetro, altura total y comercial. Se empleó la ecuación convencional de volumen, ajustada con un coeficiente mórfico para especies tropicales de 0,7. Para el cálculo de esta variable dasométrica se utilizó la Ecuación 2.54.

$$V = AB\ x\ \ h\ x\ ff$$

Ecuación 2.54 Estimación de volumen

Fuente: BOLFOR *et al*., 2000

Donde:

AB: área basal de cada individuo.

h: altura del individuo (m), total o comercial.

ff= factor mórfico (0,7).

IV. Estimación de biomasa

La biomasa puede definirse como la cantidad de materia seca por unidad de superficie o cantidad de materia orgánica almacenada en el ecosistema. Para el cálculo de la biomasa se emplearon ecuaciones alométricas estandarizadas para las zonas de vida del país, propuestas en el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, donde hay un buen ajuste del R^2 (≥90%) (Yepes Quintero, y otros, 2011). El área de intervención del proyecto se encuentra ubicado en la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) y el carbono aéreo, será la mitad de la biomasa calculada. La ecuación empleada para el cálculo de la biomasa se presenta en la Ecuación 2.55.

$$BA = -1{,}544 + 2{,}37 \ln DAP$$

Ecuación 2.55 Estimación de biomasa para bh-T

Fuente: Yepes Quintero *et al*., 2011

Donde:

BA: biomasa aérea.

DAP: diámetro a la altura del pecho.

V. Estado sucesional, estructura diamétrica y altimétrica

El análisis de las distribuciones diamétricas y altimétricas para los bosques permite evaluar el estado ecológico de la masa forestal (Ajbilou, Marañón, & Arroyo, 2003). Para realizar un análisis de las distribuciones diamétricas y altimétricas se calcularon los intervalos de clase con la Ecuación 2.56.

$$m = 1 + 3{,}322 \times \log n$$

Ecuación 2.56 Cálculo de intervalos de clase con regla de Sturges

Donde:

n: corresponde al número de individuos.

Posteriormente, mediante la Ecuación 2.57 se estableció la amplitud de cada intervalo.

$$C = \frac{C_{max} - C_{min}}{m}$$

Ecuación 2.57 Cálculo de amplitud de intervalos

Donde:

C_{max}: valor máximo.

C_{min}: valor mínimo.

m: número de intervalos de clase.

VI. Abundancia, dominancia densidad y frecuencia

La abundancia absoluta corresponde al número de individuos de cada morfoespecie (véase la Ecuación 2.58), mientras que la abundancia relativa representa la proporción de individuos de cada especie en el total de individuos de la cobertura. Para su cálculo se empleó la Ecuación 2.59.

$$Aab = \sum individuos\ de\ cada\ especie$$

Ecuación 2.58 Estimación de la abundancia absoluta

Donde:

Aab: abundancia absoluta.

$$AR = \frac{N°\ individuos\ de\ la\ especie\ A}{N°\ de\ individuos\ totales} \times 100$$

Ecuación 2.59 Estimación de la abundancia relativa

Donde:

AR: abundancia relativa.

En la Ecuación 2.60Ecuación 2.60 se presenta la frecuencia absoluta que se refiere al número de veces que aparece una especie en los conjuntos de datos.

$$f_i = \frac{n_i}{Np} \times 100$$

Ecuación 2.60 Estimación de frecuencia absoluta

Donde:

f_i: frecuencia absoluta.

n_i: número de unidades muestreadas donde se observa la especie.

Np: número de parcelas.

La frecuencia relativa se refiere a la probabilidad de encontrar una especie en una unidad muestral particular. Para su cálculo se utilizó la Ecuación 2.61.

$$FR = \frac{f_i\ de\ la\ especie\ A}{\sum f_i\ de\ todas\ las\ especies} \times 100$$

Ecuación 2.61 Estimación de la frecuencia relativa

Donde:

FR: frecuencia relativa.

f_i: frecuencia absoluta.

La dominancia se define como las proyecciones horizontales de las copas de los individuos dentro de una comunidad vegetal. La suma de las áreas basales determina su dominancia (véase la Ecuación 2.62). El cálculo de la dominancia relativa se estimó mediante la Ecuación 2.63.

$$Dab = \sum AB$$

Ecuación 2.62 Estimación de la dominancia absoluta

Donde:

Dab: dominancia absoluta.

AB: área basal.

$$DR = \frac{AB\ la\ especie\ A}{\sum AB\ de\ todas\ las\ especies} \times 100$$

Ecuación 2.63 Estimación de la dominancia relativa

Donde:

DR: dominancia relativa.

AB: área basal.

VII. Índice de valor de importancia (IVI)

El índice de valor de importancia (IVI) permite conocer la relevancia de cada especie en el ecosistema. Para determinar el IVI de las especies identificadas en el área de intervención del proyecto, se empleó la Ecuación 2.64. Para el caso de las coberturas antropizadas en las que el muestreo consistió en el censo forestal al 100%, el cálculo del IVI se realizó sin considerar el valor de la frecuencia relativa.

$$IVI = AR + DR + FR$$

Ecuación 2.64 Estimación del IVI

Fuente: Soler *et al*., 2012

Donde:

IVI: índice de valor de importancia.

AR: abundancia relativa.

DR: dominancia relativa.

FR: frecuencia relativa.

VIII. Perfiles de vegetación

Los perfiles de vegetación son un método cualitativo utilizado para evaluar la estructura vertical de un ecosistema, representando aspectos como la altura, cobertura, forma de las copas, estratos y el espaciamiento vertical de la vegetación (MADS,Maldonado, J M, 2002). Durante el trabajo de campo, se elaboró un perfil en una unidad de muestreo “parcela” para cada cobertura. En esta unidad se registraron para la categoría de fustales, además de las variables estructurales ya mencionadas, la ubicación de los árboles en relación con el eje

central de la parcela. Esta información permitió determinar la disposición espacial de los individuos dentro de la unidad de muestreo.

Con base en estos datos, se ubicaron los árboles en un plano cartesiano y se elaboró un perfil de vegetación en los planos horizontal y vertical.

IX. Análisis de regeneración natural

El análisis de la regeneración natural permite evaluar las condiciones sucesionales de las coberturas presentes, además de presentar un panorama del comportamiento del bosque y del futuro de este (Serrada, 2003). En este caso se abordó la información de los individuos de las categorías de brinzal y latizal. Dicho análisis fue realizado con el fin de determinar la regeneración natural relativa (RNr), para la estructura vertical.

i. Abundancia relativa de la regeneración natural

La abundancia absoluta de la regeneración natural (AaRN) consiste en el número total de individuos brinzales y latizales de cada especie (véase la Ecuación 2.65).

$$AaRN = \sum individuos\ de\ cada\ especie$$

Ecuación 2.65 Estimación abundancia absoluta para la regeneración natural

Donde:

AaRN: abundancia absoluta de la regeneración natural.

En la Ecuación 2.66, se presenta la estimación de la abundancia relativa (ArRN), este valor equivale al porcentaje de los brinzales y latizales de cada especie con respecto al total de los individuos presentes en una unidad de cobertura.

$$ArRN(\%) = \frac{AaRN_{sp}}{\sum AaRN_{sp}} \times 100$$

Ecuación 2.66 Estimación de abundancia relativa para la regeneración natural

Donde:

ArRN: abundancia relativa de la regeneración natural.

$AaRN_{sp}$: abundancia absoluta de la regeneración natural.

ii. Frecuencia relativa de la regeneración natural

Por otro lado, la frecuencia absoluta (FaRN) corresponde al número de parcelas en las cuales se registró algún brinzal o latizal de una especie (véase la Ecuación 2.67). Así mismo, la frecuencia relativa (FrRN) corresponde al valor relativo de la presencia de la especie respecto a la suma de la FaRN de las especies presentes en la cobertura de estudio. Se calculó mediante la Ecuación 2.68.

$$FaRN_{sp} = \frac{n_i}{Np_i} \times 100$$

Ecuación 2.67 Estimación de frecuencia absoluta para la regeneración natural

Donde:

$FaRN_{sp}$: frecuencia absoluta de la regeneración natural.

n_i: número de unidades muestreadas donde se observa la especie.

Np: número de parcelas.

$$FrRN(\%) = \frac{FaRN_{sp}}{\sum FaRN_{sp}} * 100$$

Ecuación 2.68 Estimación de frecuencia relativa para la regeneración natural

Donde:

FrRN: frecuencia relativa de la regeneración natural.

$FaRN_{sp}$: frecuencia absoluta de la regeneración natural.

iii. Posición sociológica de la regeneración natural (PSr-RN)

Este índice permitió interpretar la distribución de las especies de la regeneración en sus diferentes categorías de tamaño, desde la composición florística. En la Tabla 2.116 se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la posición sociológica relativa por especie de la regeneración natural (PSr_RN), para lo cual deben hallarse primero el valor fitosociológico simplificado de la regeneración natural para cada categoría de tamaño (VFS_RN) y por especie (VF_RNsp), y la posición sociológica absoluta de la regeneración natural (PSA_RNsp).

Tabla 2.116 Ecuaciones utilizadas para calcular la posición sociológica relativa por especie de la regeneración natural

<table>
<tr><th>Componente</th><th>Ecuación</th><th>Variables</th></tr>
<tr><td>Valor fitosociológico simplificado de la regeneración natural (VFS_RN).</td><td>
<table>
<tr><th>Categoría de tamaño</th><th>N/ha</th><th>VF_RN (%)</th><th>VFS_RN</th></tr>
<tr><td>CT1</td><td>N_1</td><td>N_1/Nt</td><td>VF_1/10</td></tr>
<tr><td>CT2</td><td>N_2</td><td>N_2/Nt</td><td>VF_2 /10</td></tr>
<tr><td>CT3</td><td>N_3</td><td>N_3/Nt</td><td>VF_3 /10</td></tr>
<tr><td>Total</td><td>Nt</td><td>100</td><td>10</td></tr>
</table>
CT1: está compuesto por todos los individuos brinzales, es decir, individuos arbóreos con diámetro menor a 5 cm.
CT2: compuesto por individuos latizales con altura menor al valor por debajo del cual se reúne el 50% (Q2) de los latizales.
CT3: compuesto por individuos latizales con altura mayor al valor por debajo del cual se reúne el 50% (Q2) de los latizales.</td><td>Ni: Número de individuos por hectárea en para la categoría de tamaño i.
VF_RN_i: Valor fitosociológico relativo de la regeneración natural para la categoría de tamaño i.</td></tr>
<tr><td>Valor fitosociológico por especie de la regeneración natural (VF_RN_{sp}).</td><td>$VF\_RN_{sp} = VFS\_RN * N_{sp}$</td><td>VFS_RN: Valor fitosociológico simplificado de la regeneración natural por cada categoría de tamaño.
N_{sp}: Número de individuos de cada especie.</td></tr>
<tr><td>Posición sociológica absoluta de la regeneración natural (PSA_RNsp).</td><td>$\mathrm{PSA\_RN}_{sp} = VF\_RN_{sp}CT1 + VF\_RN_{sp}CT2 + VF\_RN_{sp}CT3$</td><td>$VF\_RN_{sp}CT_K$: Valor fitosociológico de la regeneración natural de cada especie en la categoría de tamaño k, con k= 1,2 y 3.</td></tr>
</table>

Componente	Ecuación	Variables
Posición sociológica relativa por especie de la regeneración natural (PSr_RNspi).	$PSr\_RN_{spi} = \frac{\mathrm{PSa}_{spi}}{\sum \mathrm{PSa}_{spi}} * 100$	PSA_{SPi} es la posición sociológica absoluta de la especie i-enésima.

Fuente: Integral S.A., con base en Finol-Urdaneta, 1976

iv. Regeneración natural relativa

El índice de regeneración natural relativa muestra la probabilidad de la presencia o permanencia de una especie en un estadio sucesional superior o fustal. Una vez obtenidos los valores relativos de la abundancia (ArRN), la frecuencia (FrRN) y la posición sociológica para cada especie de la regeneración natural (PSr_RN), se empleó la Ecuación 2.69 para calcular el índice de regeneración natural relativa.

$$RNr = \frac{ArRN + FrRN + PSr\_RN}{3}$$

Ecuación 2.69 Estimación del índice de regeneración natural relativa

Donde:

RNr: índice de regeneración natural relativa.

ArRN: abundancia relativa de la regeneración natural.

FrRN: frecuencia relativa de la regeneración natural.

PSr_RN: posición sociológica relativa de la regeneración natural.

v. Índice de valor de importancia ampliado

El índice de regeneración natural ampliado (IVIa), permite analizar la estructura ecológica de las comunidades vegetales tomando todas las categorías de desarrollo (fustal, latizal y brinzal) presentes en la comunidad vegetal (véase la Ecuación 2.70). Para el caso de las especies que no cuentan con representación en la categoría fustal, se calculó el IVIa teniendo en cuenta únicamente las variables de posición sociológica y el índice de regeneración natural relativa.

$$IVIa = IVI + PSr\_RN + RN_r$$

Ecuación 2.70 Estimación del índice de valor de importancia ampliado (IVIa)

Donde:

IVIa: índice de valor de importancia ampliado.

IVI: índice de valor de importancia.

PSr_RN: posición sociológica relativa de la regeneración natural.

RNr: índice de regeneración natural relativa.

X. Estado sucesional

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de estructura, riqueza y diversidad de especies vegetales presentes en las comunidades evaluadas para el área de intervención del proyecto, se desarrolló un análisis del estado sucesional. Para ello se tuvo en cuenta la distribución horizontal y vertical de las comunidades, así como el diagnóstico de la regeneración natural.

XI. Grado de sociabilidad y estructura espacial

El grado de agregación es una variable que indica hasta qué punto tienden al agrupamiento los individuos que componen una determinada cobertura; su valor siempre se mueve en tres rangos.

El cálculo del grado de agregación está dado por la densidad observada respecto a la densidad esperada Para la estimación de esta variable se utilizará la Ecuación 2.71.

$$\mathrm{Ga} = \frac{D_o}{D_e}$$

Ecuación 2.71 Estimación del grado de sociabilidad

Donde:

D_o: representa la densidad observada, es decir el número total de árboles por especie, respecto al número total de parcelas muestreadas (véase la Ecuación 2.72).

$$D_o = \frac{N° \; total \; de \; individuos \; por \; especie}{N° \; total \; de \; parcelas}$$

Ecuación 2.72 Estimación de la densidad observada

Donde:

D_e: representa la densidad esperada y se estima mediante la Ecuación 2.73.

$$D_e = -\ln \frac{1 - F}{100}$$

Ecuación 2.73 Estimación de la densidad esperada

Donde:

F: representa la frecuencia absoluta.

La interpretación del grado de agregación se realiza teniendo en cuenta que si su valor es menor a uno la especie se encuentra dispersa en la cobertura. Si, por el contrario, se obtienen valores mayores o iguales a dos, ello refleja una distribución agrupada, mientras que valores entre uno y dos indican una tendencia al agrupamiento de la especie (véase la Tabla 2.117).

Tabla 2.117 Parámetros y tendencia de agrupación para la regeneración natural

Parámetro de agrupación	Tendencia
1≤GA>2	Tendencia al agrupamiento
GA ≥2	Distribución agrupada
GA<1	Tendencia a la dispersión

Fuente: Integral S.A., 2025

XII. Índices de diversidad

El cálculo de los índices de diversidad para las especies fustales, se realizó por medio del Software Past versión 5.2.2 (Hammer, Harper, D., & Ryan, P., 2001). Los índices de diversidad han sido usados normalmente con el fin de caracterizar las relaciones de abundancia de las especies en una comunidad. La diversidad se define por dos componentes: el primero es el número total de especies y el segundo la equidad o manera como las abundancias se distribuyen entre las especies en una muestra dada. La combinación de ambos se expresa en los índices de diversidad (Magurran, 1988).

A continuación, se describe brevemente el fundamento teórico de los análisis a realizar.

i. Índice de Shannon (H')

El Índice de Shannon (H') mide la heterogeneidad de la comunidad, y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Este índice se calculó a través de la expresión presentada en la Ecuación 2.74.

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i$$

Ecuación 2.74 Cálculo del índice de Shannon

Fuente: Pla, 2006

Donde:

H': índice de Shannon.

p_i: proporción de individuos encontrada en la i-ésima especie.

S: número de especies.

En una muestra se desconoce el verdadero valor de pi, pero se estima como se indica en la Ecuación 2.75.

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Ecuación 2.75 Proporción de individuos encontrados en la i-ésima especie

Donde:

n_i: número de individuos de la i-ésima especie.

N: número total de individuos en la muestra.

ii. Índice de Simpson (D)

El grupo de índices de diversidad conocidos como medidas de dominancia dan mayor énfasis a las especies más comunes, por lo que se estimó el índice de Simpson (D) que

refiere a la probabilidad de que dos individuos de una comunidad infinitamente grande, tomados al azar, pertenezcan a la misma especie. Siendo los árboles una comunidad finita el índice se calculó mediante la expresión presentada en la Ecuación 2.76.

$$D = \sum \frac{(n_i(n_i - 1))}{(N(N-1))}$$

Ecuación 2.76 Cálculo del índice de Simpson

Fuente: Pla, 2006

Donde:

D: índice de Simpson.

n_i: número de individuos de la i-ésima especie.

N: total de individuos.

A medida que D incrementa, la diversidad decrece. Por ello el índice se expresa usualmente como 1/D o 1-D, lo que asegura que el valor del índice se incremente con el aumento de la diversidad. El rango de este índice está entre 0 y 1.

XIII. Índices de riqueza

Como medida de riqueza se calculó el índice de Margalef (DMg) (Véase la Ecuación 2.77) que emplea una combinación del número de especies registradas y el número total de individuos que representan todas las especies.

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

Ecuación 2.77 Cálculo del índice de Margalef

Fuente: Valdez M. *et al*., 2018

Donde:

D_{Mg}: índice de Margalef.

S: número total de especies.

N: número total de individuos de la muestra.

Adicionalmente, para evaluar la riqueza de especies a nivel de coberturas también se calculó el índice de Menhinick el cual es presentado en la Ecuación 2.78.

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Ecuación 2.78 Cálculo del índice de Menhinick

Fuente: Valdez M. *et al.,* 2018

Donde:

D_{Mn}: índice de Menhinick.

S: número de especies.

N: número total de individuos.

XIV. Índice de similitud

Los índices de similitud permiten cuantificar el grado en que dos comunidades comparten especies, pueden calcularse utilizando datos cualitativos, que registran únicamente la presencia o ausencia de especies, o datos cuantitativos, que incorporan información sobre la abundancia (Moreno, 2001).

i. Dendrograma de Jaccard

Para el análisis de la similaridad entre las coberturas se empleó el dendrograma de Jaccard que expresa el grado de semejanza entre dos o más coberturas teniendo en cuenta la composición de las especies y presencia o ausencia de estas. En casos extremos si se comparten todas las especies el valor sería 1 pero si no se comparte ninguna el valor sería 0 (Moreno, 2001) y se expresa mediante la Ecuación 2.79.

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Ecuación 2.79 Cálculo del dendrograma de Jacccard

Fuente: Moreno, 2001

Donde:

a: número de especies presentes en el sitio A.

b: número de especies presentes en el sitio B.

c: número de especies presentes en ambos sitios A y B.

ii. Coeficiente de mezcla (CM)

El coeficiente de mezcla se emplea para conocer la homogeneidad o heterogeneidad de las coberturas vegetales a través de la relación entre el número de especies y el número total de individuos (Alvis Gordo, 2009). El cálculo se realizó mediante la Ecuación 2.80.

$$CM = \frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{S}{S}\right)}{\left(\frac{N}{S}\right)}$$

Ecuación 2.80 Cálculo para el coeficiente de mezcla

Donde:

S: número total de especies en el muestreo.

N: número total de individuos en el muestreo.

XV. Cálculo del error de muestreo

Para las parcelas establecidas en coberturas naturales se aplicó el método de muestreo simple con el fin de calcular el error de muestreo. En este proceso, se excluyeron los datos que se alejaban significativamente de las medidas de tendencia central, considerándolos como valores atípicos o “Outliers”. El error de muestreo fue calculado en relación con el volumen total por hectárea. Para que el muestreo se considere estadísticamente válido, este error no debe superar el 15 % con un nivel de confianza del 95 %. El cálculo se realizó mediante la Ecuación 2.81.

$$E\% = \sqrt{\frac{t^2(CV)^2}{n}}$$

Ecuación 2.81 Cálculo del error de muestreo

Donde:

n: unidades de muestreo.

CV: coeficiente de variación.

t: valor tabular (Tabla de t student).

Así mismo, el error de muestreo estimado para cada unidad de cobertura vegetal natural estuvo acompañado de los estadígrafos que lo determinan, tales como: la media, la varianza, desviación estándar, valor t (n-1) y error estándar de la media.

XVI. Representatividad del muestreo

La representatividad está orientada a demostrar la suficiencia del muestreo de las coberturas evaluadas, ésta se definió a partir de curvas de acumulación de especies y con el cálculo de los errores de muestreo. El análisis de la riqueza y diversidad biológica en las diferentes coberturas es fundamental para comprender la estructura y dinámica de las comunidades vegetales. En este contexto, las curvas de acumulación de especies constituyen una herramienta clave para evaluar la representatividad del muestreo y estimar la diversidad florística en cada tipo de cobertura.

Para determinar dicha representatividad, se utilizaron métodos basados en la estimación de la diversidad y el análisis de incidencia de las especies registradas en las unidades de muestreo. Para ello se empleó el paquete estadístico iNEXT (Interpolation and Extrapolation for species diversity), propuesto por Chao (Chao A. G., 2014) y mediante el cual se estima la cobertura de muestra (Sample Coverage, SC), que permite cuantificar la proporción de la diversidad total de la comunidad que se encuentra representada por las especies restringidas durante el muestreo. Este enfoque permite evaluar la suficiencia del esfuerzo realizado considerando tanto las especies observadas como aquellas cuya presencia podría no haber sido detectada durante el muestreo. La cobertura de muestra (SC) se estima a partir de la frecuencia de especies raras registradas particularmente las especies "únicas" o singletons (Q1), detectadas en una (1) sola unidad de muestreo, y las especies "duplicadas" o doubletons (Q2), detectadas en exactamente dos (2) unidades, bajo el principio de que una alta proporción de especies raras dentro de la muestra es indicativa de que aún existen especies no detectadas en la comunidad, mientras que una baja proporción de especies raras sugiere que el muestreo se aproxima a la totalidad de la diversidad presente.

Los valores SC se expresan en una escales de 0 a 1, (equivalente a 0,00 % y 100,00 %). Por lo tanto, valores cercanos a uno (1) indican una alta representatividad del muestreo, mientras que valores bajos reflejan una menor cobertura de la diversidad y sugieren la posibilidad de que existan especies no detectadas.

XVII. Especies endémicas, vedadas y amenazadas

Los resultados de la caracterización florística, obtenidos a partir de las diferentes metodologías de muestreo implementadas, sirvieron para consolidar un listado de especies amenazadas presentes en los ecosistemas del proyecto, éste se obtuvo a partir de las siguientes fuentes de información: El listado de especies amenazadas de la Convención

sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2025), la lista global de especies amenazadas de (UICN, 2025) y la Resolución 0126 de 2024 del MADS, que contiene el listado oficial de especies silvestres amenazadas en el territorio nacional.

Por otro lado, partiendo de la composición florística registrada, se identificaron las especies en veda nacional consultadas en los siguientes actos administrativos: Resolución 0316 de 1974 del INDERENA, Resolución 0213 de 1977 del INDERENA y la Resolución 801 de 1977 del INDERENA. Así mismo, se validó en el Acuerdo 0404 mayo de 2020 las especies en veda regional para la jurisdicción de CORNARE.

B. Flora epífita

A continuación, se presentan las metodologías caracterización para las comunidades de la flora epífita vascular, flora epífita no vascular y de otros hábitos de crecimiento en el área de influencia del proyecto en sus fases previa, de muestreo y de análisis.

a. Fase previa

Con el fin de conocer las especies vegetales con posible presencia en el área de influencia del proyecto, se realizó una búsqueda en diversas fuentes especializadas. Para ello, se consultó la base de datos del proyecto *Catálogo de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia* (Idarraga Piedrahita & Ortiz, 2011), disponible en línea en el portal *Trópicos* del Missouri Botanical Garden; también se consultó el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia – SiB Colombia (2025), el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA, 2025) y las bases de datos del Global Biodiversity Information Facility – GBIF (2025). Las búsquedas se realizaron aplicando filtros geográficos y altitudinales, de acuerdo con las funciones disponibles en cada plataforma. Cuando fue posible, se restringieron al municipio de San Roque (Antioquia). En otros casos, el criterio se amplió a todo el departamento de Antioquia limitando los resultados con un rango altitudinal entre los 500 y 1.500 msnm. Adicionalmente, en el *Catálogo de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia* (Ídarraga Piedrahíta, Ortiz, Callejas Posada, & Merello, 2011), la búsqueda se acotó a registros correspondientes a la vertiente oriental de la cordillera Central, con el fin de aproximar aún más la representación florística al contexto ecológico del área de estudio. Esta ruta permitió consolidar un listado de especies que sirvió para generar análisis específicos sobre la flora epífita potencial.

En cuanto a las categorías de amenaza de las especies de flora epífita potencial para el área de influencia del proyecto, se revisó la Resolución 0213 de 1977 del INDERENA mediante la cual se establecen las regulaciones sobre la protección de plantas silvestres en Colombia, definiendo especies protegidas y prohibiendo el uso y aprovechamiento de estas sin los permisos adecuados. Además, con el fin de validar las especies con veda regional para la jurisdicción de CORNARE, se consultó el Acuerdo 404 de 2020. Adicionalmente, con el objetivo de establecer el listado de especies amenazadas para el área de influencia del proyecto, se revisó la Resolución 0126 de 2024 del MADS.

b. Fase de muestreo

Con el fin de caracterizar con información primaria los diferentes grupos y comunidades de la flora epífitas y de otros hábitos de crecimiento en el área de influencia del proyecto se aplicaron diversas metodologías, contempladas dentro del Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales RE-01318-2024 del 24 de abril de 2024 otorgada

por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare "CORNARE" para la empresa INTEGRAL S.A. durante la caracterización de la presente modificación. Adicionalmente, para la atención de los requerimientos de información adicional, se implementaron las metodologías de muestreo y los protocolos de recolección de especímenes botánicos desarrolladas y amparados bajo el permiso de estudio para recolección de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales Resolución 1715 del 13 de agosto de 2024 emitido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA (véase ANEXOS_GENERALIDADES_ PRE_ PERMRECOLE_INTEGRAL).

A continuación, se describen las metodologías empleadas en la fase de muestreo para cada grupo vegetal caracterizado.

I. Caracterización de epífitas vasculares y no vasculares

A continuación, se describen las metodologías de la caracterización de las comunidades de flora epífita vascular y no vascular.

i. Determinación de la intensidad del muestreo

La intensidad del muestreo fue determinada con base en el protocolo para el Análisis Rápido y Representativo de la Diversidad de Epífitas (RRED-analysis), propuesto por (Granstein, Nadkarni, Kromer, & Holz, 2003) para coberturas boscosas. Este protocolo fue adaptado según las características propias de cada una de las unidades de cobertura de la tierra, definidas en la metodología Corine *Land Cover* adaptada para Colombia. La adaptación se fundamentó en el porcentaje potencial de área con presencia de vegetación arbórea en cada cobertura, de acuerdo con los criterios establecidos por dicha metodología.

ii. Ejecución del muestreo

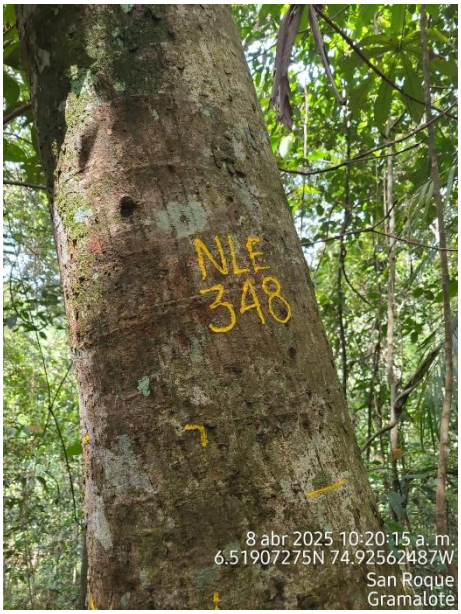
Para especies de hábito epífito, se tomó como unidad de muestreo el forófito y siguiendo los lineamientos para un muestreo rápido y representativo de la diversidad de epífitas vasculares y no vasculares (REED-*analysis*) establecido por (Granstein, Nadkarni, Kromer, & Holz, 2003). La metodología mencionada, plantea la evaluación de un tamaño mínimo de muestra por ecosistema evaluado (de 3 a 8 forófitos para epífitas no vasculares y de 8 forófitos para epífitas vasculares) para obtener un muestreo representativo por cobertura al interior del área de influencia.

En la presente caracterización, dadas las condiciones del proyecto minero a modificar y con fin de garantizar la intensidad del muestreo requerida, se estableció como valor de referencia para ambos grupos de epífitas el uso del aplicativo denominado "Cálculo de la representatividad del muestreo de especies en veda nacional bajo resolución 0213 de 1977 del INIDERENA por cobertura de la tierra, para proyectos con área de intervención definida en el marco del licenciamiento ambiental" (ANLA, Autoridad de licencias ambientales, 2021), el cual define la cantidad de forófitos a caracterizar de acuerdo a la naturaleza de las cobertura terrestre, al porcentaje de presencia de cobertura arbórea determinados en la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) y la superficie a intervenir de cada una de ellas.

Es de aclarar que, el muestreo de vegetación epifita vascular no solo se limitó a las especies en veda (orquídeas y bromelias), en este se incluyeron otras poblaciones de hábito epífito, tales como las pteridofitas, miembros de las familias Pasifloraceae, Araceae, Piperaceae

entre otras (MADS, 2018); además de acuerdo con la Circular 8201 (MADS, 2019) se incluyeron otras plantas vasculares de hábitos como lianas, bejucos, zarcillos, entre otros.

Cada uno de los forófitos fue georreferenciado a través de dispositivos GPS, en ellos se registraron las respectivas variables dasométricas como circunferencia a la altura del pecho (CAP), altura total, altura fustal y altura comercial. Los datos fueron recolectados por medio de formularios digitales en la aplicación Fulcrum. Los individuos evaluados fueron marcados con pintura asfáltica color amarillo con un código compuesto por la letra N o T, seguida de una letra variable de cada comisión, posteriormente la letra E y un número consecutivo (véase la Fotografía 2.22), en los casos en los que el forófito seleccionado hubiera sido marcado previamente por el inventario forestal el código se conservó como identificador único del muestreo.








Fotografía 2.22 Marcación de forófitos en campo

Fuente: Integral S.A., 2025

Posteriormente, para epifitas vasculares, en cada uno de los forófitos seleccionado, se cuantificó la totalidad de individuos diferenciables, proceso apoyado con el uso de binoculares y cámaras fotográficas con zoom, como mecanismo de observación para la cuantificación y diferenciación de morfoespecies. Se consideró tres estratos diferentes en cada hospedero (Véase la Figura 2.41 y Tabla 2.118) esto con el fin de establecer las preferencias de las especies en relación con la humedad, radiación solar y los rangos de distribución vertical. Un equipo de profesionales realizó la identificación taxonómica de las morfoespecies registradas en los forófitos, para aquellas especies que no se logró su identificación se recolectaron muestras representativas con ayuda de un cortarramas y preservadas en bolsas *ziploc* debidamente rotuladas, registrando las características morfológicas que pudieran apoyar su identificación; cada muestra fue prensada y conservada en alcohol (70 %) para su posterior secado e identificación en el herbario de la Universidad de Antioquia (HUA).

Es importante señalar que la presente modificación corresponde a una nueva fase de ejecución del mismo proyecto. En consecuencia, no fue necesario realizar una nueva colecta para la totalidad de las especies registradas, dado que algunas especies ya contaban con determinaciones taxonómicas previamente realizadas sobre ejemplares colectados en el área del proyecto. En este caso, se realizó la homologación de las determinaciones taxonómicas con el listado de especies considerado para la presente modificación. Para este proceso, se revisaron y contrastaron los certificados de determinaciones taxonómicos expedidos por los herbarios Jardín Botánico "Joaquín Antonio Uribe" de Medellín (JAUM) y Universidad de Antioquia (HUA).

Para el muestreo de epífitas no vasculares se evaluaron dos estratos, cada uno de estos con una réplica a los 180° (véase la Figura 2.41 y Tabla 2.118). En cada estrato y para cada replica se evaluó un área de 400 cm^2, empleando una malla de 20 cm x 20 cm con ojo de una pulgada (véase la Fotografía 2.23). Posteriormente, se realizó una exploración visual

directa y con la ayuda de una lupa (40X) se determinó la morfoespecie y se cuantificó el área total de ocupación de cada morfoespecie medida en cm^2. Cada morfoespecie diferenciada en campo fue colectada y almacenada en bolsas de papel Kraft debidamente rotuladas y secadas a temperatura ambiente (véase Fotografía 2.24). Posteriormente, se realizó el proceso de identificación taxonómica en el herbario de la Universidad de Antioquia (HUA) por profesionales especializados en cada grupo.

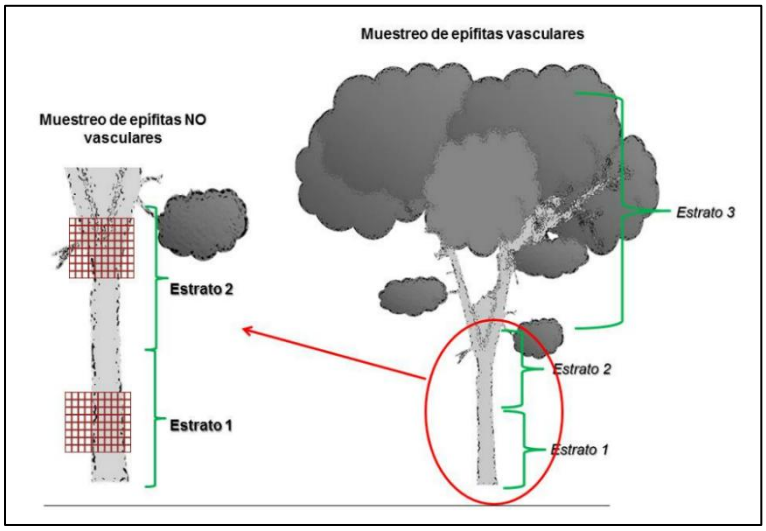


Figura 2.41 Estratificación vertical del hospedero

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.118 Estratificación vertical del hospedero establecida para epífitas vasculares y no vasculares

Zona o estrato	Zonificación del forófito	Definición para especies no vasculares	Definición para especies vasculares
1	Base	Parte basal del tronco o base (desde el suelo hasta 50 cm de alto (0,5 m de altura).	Parte basal del tronco o base desde el suelo hasta 1,3 m de altura.
2	Tronco	Desde la base (a partir de 50 cm) del tronco hasta 1,5 metros de altura.	Desde 1,3 m de altura hasta la primera ramificación.
3	Dosel	No aplica	Parte basal de las ramas donde se presenta la primera bifurcación del tronco, hasta las hojas.

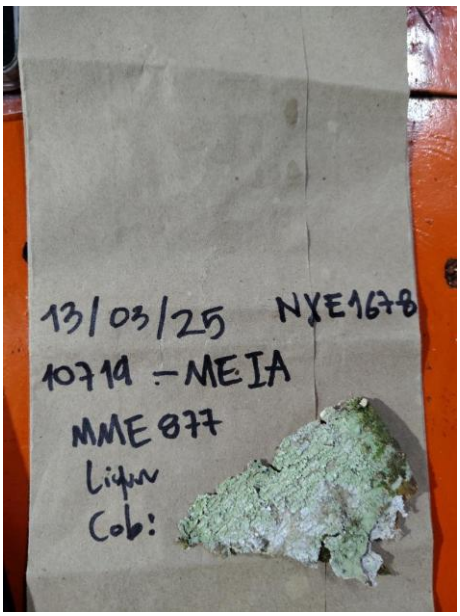
Fuente: Integral S.A., 2025





Fotografía 2.23 Malla de 400 cm^2 sobre el tronco y observación de morfoespecies para el muestreo de epifitas no vasculares

Fuente: Integral S.A., 2025

Fotografía 2.24 Marcaje y secado de las morfoespecies colectadas de epífitas no vasculares

Fuente: Integral S.A., 2025

Para la aplicación de las metodologías de epífitas vasculares y no vasculares mencionadas anteriormente se tuvieron en cuenta los criterios de selección de forófitos consignados en la Tabla 2.119. Sin embargo, para la cobertura Vegetación secundaria baja no fue posible cumplir con el criterio de distancia mínima (20 metros), dado que la cobertura presenta un estado sucesional temprano, caracterizado por la abundancia de individuos en estado de

latizal y brinzal, así como extensas áreas dominadas por helecho marranero (*Dicranopteris linearis*). Por esta razón, los forófitos muestreados en esta cobertura se ubicaron a distancias inferiores a 20 metros, con el fin de alcanzar el número mínimo de individuos requeridos.

Tabla 2.119 Criterios para la selección de forófitos en el muestreo de epífitas

Criterio	Variable	Medida
Características del forófito	Altura	>7 m
	DAP	≥ 10 cm
	Corteza	No exfoliable
	% Epífitas	> 40%
	Distancia entre arboles	25m
Características del terreno	Acceso	Posible
	Pendiente	<90%
	Cobertura vegetal	Presencia de árboles

Fuente: (Granstein, Nadkarni, Kromer, & Holz, 2003)

II. Caracterización de especies de otros hábitos (terrestres, rupícolas y lignícolas)

Para el muestreo de plantas vasculares en veda nacional de las familias Bromeliaceae y Orchidaceae de hábito terrestres y rupícola se implementó la metodología propuesta en la circular 8201 del 2019, la que establece montar al menos seis parcelas de 1 x 1 m por cada unidad de cobertura de la tierra. En cada parcela establecida se verificó la presencia de individuos de estas familias, los cuales fueron registrados con especie y número de individuos; cada parcela fue georreferenciada y marcada en una estaca con pintura asfáltica color amarrilla con un código compuesto por la letra N o T, una letra variable de cada comisión, seguida la letra T y un número consecutivo (véase la Fotografía 2.25).

Adicionalmente, en estas mismas unidades de muestreo se realizó la caracterización de briófitos, líquenes y anthoceros creciendo sobre roca, suelo o madera en descomposición, en cada unidad de muestreo se realizó el registro de las abundancias en cm^2 de las especies halladas en el área de la parcela por tipo de sustrato y grupo taxonómico (Véase la Fotografía 2.25).

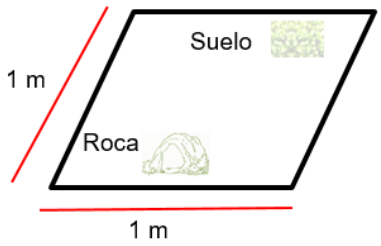


Figura 2.42 Esquema de evaluación de briófitos, líquenes y anthoceros por parcela

Fuente: Integral S.A., 2025



Fotografía 2.25 Montaje y marcación de la parcela de otros hábitos

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Fase de análisis

Al finalizar las actividades de campo, se procedió con el análisis de la caracterización de flora epífita y de otros hábitos de crecimiento del área de influencia teniendo en cuenta la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales estudiadas. A continuación, se describen las metodologías empleadas durante la fase de análisis:

I. Composición florística, abundancia y frecuencia

Para obtener la abundancia relativa se usaron los valores de abundancia absoluta (véase la Ecuación 2.82), para el caso de las especies vasculares es la suma de todos los individuos, para las especies no vasculares la abundancia hace referencia al área de ocupación de cada especie medida en centímetros cuadrados por cobertura de análisis. Para la estimación de la abundancia relativa se empleó la Ecuación 2.83.

$$Aab = \sum individuos\ de\ cada\ especie$$

Ecuación 2.82 Estimación abundancia absoluta para la epífitas y especies de otros hábitos

Donde:

Aab= Abundancia absoluta de epífitas y especies de otros hábitos

$$AR = \frac{\text{Número de individuos o cm}^2 \text{ de la especie A}}{\text{Número total de individuos o cm}^2 \text{ totales}}\ x\ 100$$

Ecuación 2.83 Estimación de la abundancia relativa para epífitas y especies de otros hábitos

Donde:

AR: Abundancia relativa

Adicionalmente, en la Ecuación 2.84 se presenta la frecuencia absoluta, que se refiere al número de veces que aparece una especie en los conjuntos de datos.

$$f_i = \frac{n_i}{Nf} \times 100$$

Ecuación 2.84 Estimación de frecuencia absoluta para epífitas y especies de otros hábitos

Donde:

f_i: frecuencia absoluta.

n_i: número de unidades muestreadas donde se observa la especie.

Nf: número de forofitos o parcelas de otros hábitos.

La frecuencia relativa se refiere a la probabilidad de encontrar un atributo en una unidad muestral particular. Se expresa como número de unidades muestreadas en las que el atributo aparece en relación con el número total de unidades muéstrales. Para su cálculo se empleó la Ecuación 2.85.

$$FR = \frac{f_i \; de \; la \; especie \; A}{\sum f_i \; de \; todas \; las \; especies} \times 100$$

Ecuación 2.85 Estimación de la frecuencia relativa para epífitas y especies de otros hábitos

Donde:

FR: frecuencia relativa.

f_i: frecuencia absoluta.

II. Estratificación vertical y preferencia de hospedero o sustrato

Para los análisis de estratificación vertical se utilizaron los valores de abundancia de especies vasculares y cobertura en cm^2 de especies no vasculares diferenciadas por estrato evaluado en cada grupo biológico, tal como se observa en la Figura 2.41. En el análisis de preferencia de hospedero se evaluó, la cantidad de especies epifitas soportadas por cada especie de forófito, así como, la abundancia o cobertura en cm^2 acumulada por cobertura analizada. En el caso de las especies vasculares y no vasculares de hábitos diferentes al epifito, se analizó la preferencia de sustrato, se evaluó tanto la cantidad de especies epifitas asociadas en cada sustrato como la abundancia o cobertura en cm^2 acumulada por cobertura analizada.

III. Índices de diversidad

El cálculo de los índices de diversidad para las especies vasculares y no vasculares de hábito epífito o con crecimiento en otros sustratos, se realizó por medio del Software Past (Hammer et, al., 2001). Los índices de diversidad han sido usados normalmente con el fin de caracterizar de alguna manera las relaciones de abundancia de las especies en una comunidad. La diversidad se define por dos componentes: el primero es el número total de especies y el segundo la equidad o manera como las abundancias se distribuyen entre las especies en una muestra dada. La combinación de ambos se expresa en los índices de

diversidad (Magurran, 1988). A continuación, se describe brevemente el fundamento teórico de los análisis a realizar:

i. Índice de Shannon (H')

El Índice de Shannon (H') mide la heterogeneidad de la comunidad, y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Este índice se calculó a través de la expresión presentada en la Ecuación 2.86.

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i$$

Ecuación 2.86 Cálculo del índice de Shannon

Fuente: Pla, 2006

Donde:

H: índice de Shannon.

p_i: proporción de individuos encontrada en la i-ésima especie.

S: número de especies.

En una muestra se desconoce el verdadero valor de pi, pero se estima como se indica en la Ecuación 2.87.

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Ecuación 2.87 Proporción de individuos encontrados en la i-ésima especie

Donde:

n_i: número de individuos de la i-ésima especie.

N: número total de individuos en la muestra.

ii. Índice de Simpson (D)

El grupo de índices de diversidad conocidos como medidas de dominancia dan mayor énfasis a las especies más comunes, por lo que se estimó el índice de Simpson (D) que refiere a la probabilidad de que dos individuos de una comunidad infinitamente grande, tomados al azar, pertenezcan a la misma especie. Siendo los árboles una comunidad finita el índice se calculó mediante la expresión presentada en la Ecuación 2.88.

$$D = \sum \frac{(n_i(n_i - 1))}{(N(N - 1))}$$

Ecuación 2.88 Cálculo del índice de Simpson

Fuente: Pla, 2006

Donde:

n_i: número de individuos de la i-ésima especie

N: total de individuos

A medida que D incrementa, la diversidad decrece. Por ello el índice se expresa usualmente como 1/D o 1-D, lo que asegura que el valor del índice se incremente con el aumento de la diversidad. El rango de este índice está entre 0 y 1.

IV. Índices de riqueza

Como medida de riqueza se calculó el índice de Margalef (DMg) (Véase la Ecuación 2.89) que emplea una combinación del número de especies registradas y el número total de individuos que representan todas las especies.

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

Ecuación 2.89 Cálculo del índice de Margalef

Fuente: Valdez M. *et al*., 2018

Donde:

D_{Mg}: índice de Margalef

S: número total de especies

N: número total de individuos de la muestra

Adicionalmente, para evaluar la riqueza de especies a nivel de coberturas también se calculó el índice de Menhinick el cual es presentado en la Ecuación 2.90.

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Ecuación 2.90 Cálculo del índice de Menhinick

Fuente: Valdez M. *et al*., 2018

Donde:

S: número de especies.

N: número total de individuos.

V. Índice de similitud

Los índices de similitud permiten cuantificar el grado en que dos comunidades comparten especies, pueden calcularse utilizando datos cualitativos, que registran únicamente la presencia o ausencia de especies, o datos cuantitativos, que incorporan información sobre la abundancia (Moreno, 2001).

iii. Dendrograma de Jaccard

Para el análisis de la similaridad entre las coberturas se empleó el dendrograma de Jaccard que relaciona el número de especies en común con el total de especies registradas en las dos o más comunidades, sin tener en cuenta la abundancia, únicamente su presencia o ausencia. El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies y se expresa mediante la Ecuación 2.91 (Moreno, 2001).

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Ecuación 2.91 Cálculo del dendrograma de Jacccard

Fuente: Moreno, 2001

Donde:

a= número de especies presentes en el sitio A

b= número de especies presentes en el sitio B

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B

VI. Representatividad o completitud del muestreo

Con el fin de establecer el esfuerzo de muestreo para las especies vasculares, se elaboraron curvas de acumulación de especies por cobertura utilizando el paquete estadístico iNEXT (Interpolation and Extrapolation for species diversity), de acceso libre en línea. Este paquete permite estimar la representatividad, a partir de la frecuencia de las especies registradas en campo, qué proporción de la diversidad real presente en una comunidad fue efectivamente capturada por el esfuerzo de muestreo empleado.

El indicador central del análisis es el estimador de cobertura de muestra (Sample Coverage, SC), propuesto por chao (Chao A. G., 2014), representa la proporción de la incidencia total de la comunidad que corresponde a especies efectivamente representadas en la muestra. Este estimador se calcula a partir de la frecuencia de especies raras registradas particularmente las especies "únicas" o singletons (Q1), detectadas en una (1) sola unidad de muestreo, y las especies "duplicadas" o doubletons (Q2), detectadas en exactamente dos (2) unidades, bajo el principio de que una alta proporción de especies raras dentro de la muestra es indicativa de que aún existen especies no detectadas en la comunidad, mientras que una baja proporción de especies raras sugiere que el muestreo se aproxima a la totalidad de la diversidad presente.

Un valor de SC cercano a 1 (100%) indica que el esfuerzo de muestreo capturó la totalidad de la diversidad presente en la unidad evaluada, mientras que valores bajos evidencian que una proporción importante de la comunidad no fue detectada con el esfuerzo aplicado. Este análisis de representatividad se realizó de manera independiente para cada cobertura de la tierra identificada dentro del área de influencia del medio biótico del proyecto.

2.3.4.1.5 Análisis de fragmentación

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para proyectos de explotación minera (TdR13, 2016) y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MADS, 2018), ambos emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se desarrolló un análisis de fragmentación orientado a caracterizar el estado actual del área de influencia de para el medio biótico. Este análisis se centró en la dinámica del paisaje a partir de variables como tamaño, número de parches, aislamiento, forma y agentes que generan cambio en la estructura del territorio.

Para el análisis de fragmentación, se utilizaron las coberturas naturales y seminaturales del área de influencia para el medio biótico, de acuerdo con la Clasificación de la metodología de *Corine-Land Cover*, adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), el comportamiento de las coberturas vegetales se analizó a lo largo de dos (2) temporalizades, además, se estimaron

y analizaron métricas de parche (distancia euclidiana al vecino más cercano), métricas de clase (área total, número de parches, longitud de borde, índice de forma, índice de dimensión fractal) y métricas de paisaje (como índices de diversidad). A continuación, se describen brevemente cada una de las métricas empleadas.

- Métricas de parche: Se emplea para mirar de manera individual cada uno de los fragmentos, evaluando área, forma, distancia al vecino más cercano y áreas CORE.
- Métricas de clase: Se emplea para describir el grado de fragmentación de una cobertura, evaluando atributos específicos de esta, como tipo de cobertura, área, distribución, áreas CORE.
- Métricas del paisaje: Se emplea para medir la heterogeneidad de las clases y la distribución en el paisaje (Martínez Jiménez *et al*., 2023).

Las variables estimadas permitieron determinar el estado actual y la dinámica del área en términos de fragmentación, estructura espacial y factores que más influyen en su transformación (véase la Tabla 2.120).

Adicionalmente, se realizó una comparación entre los escenarios sin proyecto (SP), con el proyecto licenciado (CPL) y escenario para la modificación de licencia (CPM) empleando ortofotografías correspondientes a las temporalidades analizadas. El escenario sin proyecto se analizó para definir los cambios del paisaje ocasionados por factores independientes al proyecto, asumiendo la dinámica natural del área. Posteriormente, se realizó el análisis del escenario con proyecto, basado en la modificación que el paisaje puede sufrir como consecuencia de la introducción de las actividades de construcción y operación del proyecto.

El análisis se realizó mediante el cálculo de métricas empleando la herramienta V–LATE (Vector based Landscape Analysis Tool Extension) para ArcGIS 10.8.2.

Tabla 2.120 Métricas del paisaje

Métricas			**Descripción**
Métricas de clase	Área	NP	Número de parches de una clase
		CA	Área por clase
		MPS	Tamaño medio de los parches
	Forma	SI	Índice de forma
		PAR	Media de la Relación Perímetro – Área
		Fract	Índice de Dimensión Fractal
	Borde	TE	Total, del borde a nivel de clase
		MPE	Media del borde de los parches
	Área Core	NCA	Numero de área núcleo
		TCCA	Total área núcleo
Métrica de parche	Área	NP	Número de parches
		CA	Área por clase
	Forma	SI	Índice de forma
		Fract	Índice de Dimensión Fractal
	Proximidad	NNDist	Distancia euclidiana al vecino más Cercano
	Área Core	NCA	Numero de área núcleo
		TCCA	Total área núcleo
Métricas del paisaje	Diversidad	Shannon' Diversity	Información de composición, riqueza y dominancia en un área
		Shannon' Evennenss	

Métricas			Descripción
		Dominance	

Fuente: Integral S.A., 2025

- Análisis de Área Core

Para determinar la funcionalidad del paisaje se calculó el área core o área núcleo, entendida como la porción del fragmento que no presenta influencia del efecto de borde (Murcia, 1995). La distancia de borde utilizada para el análisis se estableció mediante un buffer de 50 m, considerando que, según (Williams-Linera, 1998), el efecto de borde afecta principalmente los primeros 50 m hacia el interior del bosque. Sin embargo, la intensidad de este efecto puede variar en función de la orientación del borde y de la fisonomía del bosque.

El núcleo se considera vital para la ocurrencia y el mantenimiento de las especies de fauna y flora especialistas, cuyos nichos ecológicos tienen menor amplitud a diferencia de las especies generalistas. Es decir, los requerimientos ambientales de las primeras son más especializados. Por el contrario, las generalistas usualmente se presentan hacia los bordes de los fragmentos o en áreas intervenidas (Forman R. , 1995).

El detalle del desarrollo de este numeral se encuentra en el documento 5_2_2__ECOS_TERRES_FRAGMENTACION.

2.3.4.1.6 Conectividad Ecológica (funcional)

Los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA TdR-013 (ANLA, 2016) y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS; ANLA, 2018) no relacionan una metodología específica para los análisis de conectividad ecológica funcional por lo que se planteó una metodología que permitiera evaluar la conectividad del territorio en una escala regional y local y en los escenarios sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto para la modificación de licencia (2CPM) e identificar el área de manifestación de los impactos ambientales significativos a la conectividad para la definición y delimitación del área de influencia del componente conectividad funcional y la caracterización de la misma. La metodología empleada para este análisis se describe a continuación:

A. Efectos potenciales por el proyecto, obra o actividad a la conectividad

En este numeral se identifican los efectos e impactos que puede tener el proyecto en la conectividad funcional a partir de la revisión del documento de Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados por ANLA de diciembre de 2023 (ANLA, 2016). Los efectos a la conectividad están asociados principalmente a la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat y cambios en la movilidad de la fauna por lo que los impactos asociados a la conectividad son la *Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres* y *Alteración de la estructura ecológica del paisaje*.

El detalle en la descripción de este numeral se encuentra en el documento 5_2_2_4_ECOS_TERRES_CONECTIVIDAD.

B. Especies objeto de estudio

Para evaluar la conectividad funcional de un corredor biológico o un área, es importante establecer para cual organismo o grupo de organismos resulta prioritario determinarla y

cómo, la conectividad funcional, va a depender de las características de cada especie (Alonso F A. M., 2017), es por ello por lo que se hace una elección de especies de fauna que puedan servir como modelos para analizar la conectividad de un territorio. Es recurrente que se utilicen especies indicadoras o sombrilla para identificar áreas de conectividad para un conjunto de especies (Hilty J., 2021).

Las especies paraguas se caracterizan por sus requisitos específicos de hábitat como "especies que dependen de hábitats o recursos sucesionales, raros o impredecibles"; por sus requisitos de área como "especies con grandes requisitos de área, que, si se les proporciona suficiente área de hábitat protegido, atraerán a muchas otras especies bajo su protección"; y por el número de especies con las que se superponen (Wilcox, 1984) (Roberge J., 2004) (Caro T. M., 2010) (Barlow C.P., 2020). Sin embargo, hay áreas del territorio que no registran especies sombrilla por lo que se puede optar por otras especies ya sean indicadoras, clave o bandera (Caro T. M., 2010) (Carlisle J. D., 2018). Otra opción son las especies focales, que son aquellas cuyos requisitos de persistencia (p. ej., área y conectividad) encapsulan los de muchas otras especies y contribuyen a los procesos ecológicos de forma única (Lambeck R. J., 1997) (Bani, 2002) siendo los vertebrados forestales, como los carnívoros de tamaño mediano, especies focales ideales (Bani, 2002). La utilización de las denominadas especies focales se puede implementar para la creación de redes de conectividad o modelamiento de hábitat, de manera que sirvan como especie o especies paraguas, cuyo estudio pueda abarcar los requerimientos ecológicos de una gran variedad de organismos (Alonso F A. M., 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una revisión de la información primaria de fauna tanto de la caracterización de la línea base de la licencia ambiental (EIA Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016) (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015), como la caracterización de fauna de la línea base de la Modificación de licencia ambiental (Resolución 00782 del 08 de mayo de 2019) (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) y la línea base de fauna más reciente para la nueva modificación de licencia ambiental, con el fin de verificar si dentro de las especies registradas se reportan especies sombrilla, sin embargo, no se han reportado especies de este tipo para el área. Por lo tanto, se buscaron otras especies de alta importancia ecológica que se pudieran considerar como especies focales y que presentaran información ecológica disponible que permitieran analizar los efectos o impactos potenciales para las especies de fauna en cuanto a su movilidad frente a las eventuales obras y actividades del proyecto. Se plantearon los siguientes criterios para su selección:

- Registros de especies en la línea base.
- Categorías de amenaza de la especie **(CITES, 2025) (IUCN, 2025) (MADS, 2024)**.
- Tipo de distribución de la especie (Endemismo).
- Especies sombrilla, indicadoras, clave o bandera.
- Información de patrones de movimiento disponible para la especie (Home-range, información ecológica de las especies).

En este numeral se describe la elección de las especies objeto de estudio para analizar la conectividad funcional las cuales fueron el tigrillo *Leopardus pardalis* y el titi gris *Oedipomidas leucopus*, que para el análisis se denominaron Especie 1 (E1) para *L. pardalis* y Especie 2 (E2) para *O. leucopus*.

El detalle en la descripción de este numeral se encuentra en el documento 5_2_2_4_ECOS_TERRES_CONECTIVIDAD y la información cartográfica en ANEXOS_CARACTERIZACION_CONECTIVIDAD.

C. Escenarios analíticos para la conectividad

La conectividad es un fenómeno totalmente dependiente de la escala y el objetivo. Las definiciones, las métricas, la funcionalidad, las aplicaciones de conservación y las medidas de éxito dependen de los taxones o procesos de interés y las escalas espaciales y temporales en las que ocurren (Crooks, 2006).

Para este análisis, se utilizaron dos escalas de análisis escala regional y escala local y tres escenarios analíticos con el fin de comparar la red ecológica de conectividad teórica en la actualidad, y cómo se verá afectada en el futuro por las obras o actividades del proyecto. En el presente estudio de conectividad se modelaron los escenarios analíticos para las condiciones sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CP) A continuación, se describen los escenarios analíticos definidos.

a. Escala área de conectividad regional

Se contempla una escala del paisaje regional con el fin de analizar los elementos de importancia para la conectividad en una escala amplia con respecto a la ubicación del proyecto.

b. Escala área de conectividad local

Contempla una escala del paisaje local con el fin de analizar los elementos de importancia para la conectividad cercanos a la ubicación del proyecto y los que podrían sufrir una afectación directa e indirecta. Esta escala contempla los elementos de importancia actuales, es decir sin proyecto y los elementos de importancia con el proyecto licenciado y con el proyecto propuesto en la actual modificación. Para el escenario local se aplican condiciones de truncamiento de enlaces en unidades de distancia y costo según la ecología de las especies.

Este escenario contempla una ventana de análisis local para conectividad a partir de los resultados obtenidos en los análisis de conectividad regional. Dentro del escenario local se analizan tres escenarios más:

- Escenario cero sin proyecto (0SP)

Este escenario corresponde al estado de la red ecológica de conectividad y la estructura de los nodos actual, sin considerar el proyecto y sus obras y actividades.

- Escenario uno con proyecto licenciado (1CPL)

Este escenario corresponde al estado futuro de la red ecológica de conectividad con la huella del proyecto licenciado con bajo la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016.

- Escenario dos con proyecto “modificación de licencia” (2CPM)

Este escenario corresponde al estado futuro de la red ecológica de conectividad con la huella del proyecto, sus obras y actividades de la presente modificación de licencia ambiental. Este escenario corresponde al modelamiento de las condiciones luego del emplazamiento del proyecto, a la etapa de operación del proyecto.

Estos escenarios son modelados de manera independiente para cada especie objeto de estudio, y luego los resultados de cada escenario se comparan entre sí para identificar los cambios que se generan en la conectividad por el emplazamiento del proyecto. En las salidas gráficas tanto para el escenario con proyecto como para el escenario sin proyecto se especializa la localización del proyecto para ubicación geográfica.

D. Área de estudio de conectividad

La metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS, 2018) en los numerales **2. Área de influencia** y el numeral **2.1 Lineamientos para identificar y delimitar el área de influencia**, define que: *"(…) el área de influencia adquiere características como: es un área que no se restringe solamente al lugar en el que se generan los impactos (área de intervención) y se extiende a las zonas en las que se manifiestan los impactos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos (…)".* Es por esto por lo que se hace necesario delimitar un área de influencia o área de estudio para conectividad funcional suficientemente amplia y representativa, en la que se pueda identificar la estructura y función del paisaje y los elementos de ese paisaje que aportan a la red de conectividad y determinar hasta donde se manifiestan los impactos por el proyecto obra o actividad. Para este análisis se proponen dos áreas de estudio, un regional para conocer los elementos de importancia que componen la red de conectividad actual en la región y un área de estudio local que parte de los resultados del área regional y en la que se realizaron las modelaciones a detalle para la definición del área de influencia de conectividad y la caracterización de la conectividad funcional.

El detalle en la descripción de este numeral se encuentra en el documento 5_2_2_4_ECOS_TERRES_CONECTIVIDAD.

E. Elaboración de matrices de resistencia

La matriz de resistencia es una representación del grado en el que la matriz del paisaje contribuye a facilitar o dificultar la movilidad de las especies. Su representación es determinada por parámetros relacionados con las características del territorio (barreras físicas, hábitats, entre otros). La matriz de resistencia es la base sobre la que se definen las áreas del territorio que representan la mayor o menor resistencia al desplazamiento de las especies, identificando de manera gráfica y numérica el valor de impedancia de cada píxel del territorio.

Para la elaboración de la matriz de resistencia se tuvieron en cuenta:

a. Insumos cartográficos para la elaboración de la matriz de resistencia

Los insumos cartográficos necesarios como imagen de satélite (ortofoto), imagen Sentinel 2A, cartografía base, coberturas de la tierra, coberturas del proyecto, obras y actividades del proyecto.

- **Imágenes de satélite**

La imagen ortofoto resulta indispensable para el análisis, por ser la información base para la determinación de los elementos del paisaje, coberturas de la tierra y fragmentos de hábitat, dentro del área de interés que se emplearán en las modelaciones. Para este análisis se utilizó una ortofoto a color (RGB+NIR), con resolución espacial de 0.5 m/px, para las 4

bandas (Blue, Green, Red, Near-IR), con resolución radiométrica de 8bits y afectación de nubes, vacíos sombras entre otras, inferior al 0%. Con fecha de toma, julio 20 de 2023.

- **Imagen sentinel 2A**

Una imagen Sentinel-2 es una fotografía multiespectral de la tierra, capturada por los satélites de la misión Sentinel-2, que hace parte del programa COPERNICUS de la Agencia Espacial Europea (ESA), estas imágenes ofrecen detalles de la superficie terrestre (vegetación, agua, suelo) con alta resolución espacial (10, 20 y 60 metros) y alta frecuencia (cada 5 días), siendo datos gratuitos y abiertos para el monitoreo ambiental y agrícola entre otros. Específicamente, para el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, la imagen Sentinel 2A, presenta una resolución espacial de 10 metros para las 4 bandas (Blue, Green, Red, Near-IR), con afectación de nubes, vacíos sombras entre otras, inferior al 10% y corregidas atmosféricamente. Con fechas de toma de agosto 15 de 2024. Para el presente estudio de conectividad se remuestreó la imagen a una resolución de 4 m, lo anterior con el fin de ganar eficiencia en los cálculos computacionales y obtener un tamaño de píxel acorde con la escala de análisis. Es importante mencionar que a partir de esta imagen se calculó el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la clasificación supervisada de las coberturas de la tierra, debido a que estas imágenes presentan mayor precisión radiométrica.

- **Coberturas de la tierra**

Las coberturas de la tierra se obtuvieron a partir de la clasificación supervisada de la imagen de satélite multiespectral. La imagen original fue enriquecida con las bandas producto del análisis de componentes principales. Las áreas de entrenamiento para realizar la clasificación supervisada se obtuvieron a partir de selección directa sobre la imagen de satélite, además se utilizaron las coberturas de la tierra de la caracterización de flora para generación de áreas de entrenamiento adicionales. La clasificación temática se realizó teniendo en cuenta los objetivos del estudio de conectividad, agrupando las clases en bosques, plantaciones, vegetación secundaria, territorios artificializados, pastos, cultivos, ríos, cuerpos de agua y suelo desnudo.

- **Cartografía**

Se utilizaron diferentes elementos de cartografía base para espacializar la infraestructura existente. La fuente de esta información fue la cartografía base oficial del IGAC en escala 1:10,000. Los elementos utilizados fueron las vías, construcciones y núcleos urbanos.

- **Pendientes**

Para la caracterización topográfica de las áreas de estudio se utilizó el Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR con resolución espacial de 12.5 metros, generado por la Agencia Aeroespacial Japonesa (JAXA, 2014) y distribuido por el Alaska Satellite Facility. A partir de este insumo se derivó un raster de pendientes expresado en porcentaje mediante la herramienta slope del software ArcGIS, la cual estima la variación máxima de elevación entre cada celda y sus vecinas. Este producto permitió identificar los gradientes del terreno y aportar a los análisis espaciales desarrollados en relación con la resistencia al movimiento de las especies en el paisaje.

- **Obras y actividades del proyecto**

La huella del proyecto se incluye como insumo en la matriz de resistencia de los escenarios del proyecto licenciado 1CPL y y las obras de proyecto de modificación 2CPM, debido a

que obras y actividades, tales como, vías, depósitos (de material sobrante o de estériles y zodmes), áreas de explotación (tajo), manejo de relaves (presa y colas), entre otras, impactan directamente los valores de resistencia en dichos escenarios.

El detalle de la descripción de este literal c. se encuentra en el documento 5_2_2_4_ECOS_TERRES_CONECTIVIDAD.

b. Variables para la matriz de resistencia

Las variables fueron elegidas teniendo en cuenta los elementos bióticos y abióticos del paisaje que facilitan o impiden el movimiento de las especies en el territorio y por ello se eligieron variables bióticas como la variable NDVI y físicas como las variables construcciones y vías.

La calificación de las variables se realizó a través revisión bibliográfica sobre parámetros ecológicos de las especies (preferencias de hábitat, rango de hogar, distribución, ecología de movimiento) y encuesta a expertos (conocimientos de la ecología de las especies en el territorio). Clevenger *et al.* (2002) mencionan que los modelos basados en expertos y a su vez en revisión de literatura tienen un mejor desempeño (Clevenger, 2002) (Alonso F A. M., 2017). Las calificaciones basadas en la ecología de las especies son importantes pues cada especie a modelar tiene sus particularidades y más aún en parámetros como el término de movimiento y desplazamiento.

Cada una de las variables fue rasterizada y reclasificada en un rango numérico continúo común (1-100) en función de la facilidad o dificultad de movimiento en el territorio. En las salidas gráficas, la gama de colores se extiende desde los rojos hasta los verdes, en donde los colores rojizos y naranjas corresponden a las zonas que presentan mayor resistencia al movimiento de las especies, los cuales a su vez están asociados a elementos geográficos relacionados con construcciones e infraestructura vial. A medida que la escala de colores tiende a los amarillos y a verdes, es un indicador de que la resistencia al movimiento disminuye, relacionado espacialmente con hábitats y zonas de paso (ver la Figura 2.43). Cada variable fue calificada para cada una de las especies objeto de estudio: el tigrillo *Leopardus pardalis* y el titi gris *Oedipomidas leucopus*.

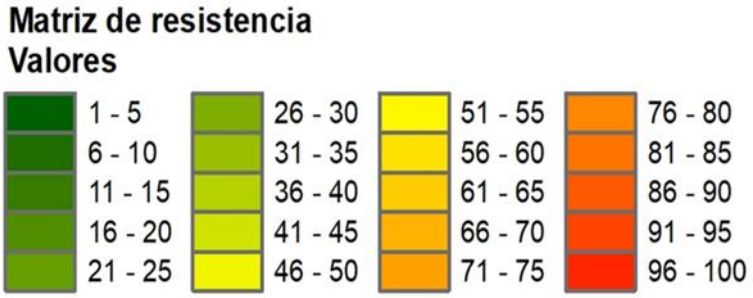


Figura 2.43 Gama de colores de acuerdo con los valores para la matriz de resistencia

Fuente: Integral S.A., 2025

I. Variable biótica

La vegetación representa el componente del medio biótico de mayor importancia para el equilibrio del sistema ambiental, debido principalmente a que es considerado un recurso con un amplio valor intrínseco (bosques naturales, agricultura, ganadería, pastos), por otro

lado, la cubierta vegetal juega un papel decisivo para el adecuado mantenimiento del resto de recursos naturales que componen el sistema (Olivares, 2019).

Con el fin de representar de forma continua las condiciones de idoneidad de hábitat para la modelación de las especies focales, se optó por la utilización de índices obtenidos directamente de la imagen de satélite. La utilización de estos tipos de índices presenta ventajas frente a la homologación de unidades de cobertura de la tierra, en cuanto se evitan las agrupaciones de varios tipos de cobertura en unidades de mosaicos o en unidades con cierto grado de heterogeneidad.

- **Variable NDVI**

Para la variable biótica se ha optado por utilizar índices de vegetación, pues estos son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de teledetección, cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo, la iluminación, etc. (Dueñas V. D., 2024).

Estos índices, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales como son la densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica, etc. (Dueñas V. D., 2024). Es por ello por lo que para la calificación de la variable biótica se ha elegido el índice NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse J. H., 1973).

En el NDVI, los valores del índice son el reflejo de la relación de la banda roja y la banda en el infrarrojo cercano (NIR). Así, la banda roja se ve influenciada por la cantidad de clorofilas de la vegetación, mientras que la banda NIR es influenciada por el contenido de agua de esta. Estas propiedades hacen que el NDVI se constituya en una valiosa herramienta para la evaluación de coberturas vegetales, así como para estudiar la clasificación, dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos. El NDVI, es un índice de gran aplicación para estudiar la vegetación, ya que es eficiente para el análisis y monitoreo de las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura terrestre (Olivares, 2019).

El índice es expresado como lo indica la siguiente ecuación (Ver la Ecuación 2.92):

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R}$$

Ecuación 2.92 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Fuente: Integral S.A., 2025

Donde:

NDVI: es el índice de vegetación de diferencia normalizada

IRc: representa la banda del infrarrojo cercano y

R: representa a la banda del rojo

Los valores de NDVI oscilan entre -1,0 y +1,0, donde los valores menores a 0,1 se interpretan como suelos desnudos o cuerpos de agua, y mayores a estos van en relación equivalente a la vigorosidad de la cobertura vegetal. Entre más altos los valores, indican mayor actividad fotosintética de las diversas coberturas (matorrales, bosque templado, selva y actividad agrícola) (Olivares, 2019).

El procedimiento realizado puede parecer complejo, pero sigue un proceso lógico claro y estricto, el cual busca de manera sencilla lograr obtener la clasificación de la variable biótica, el cual consistió en los siguientes pasos:

- **Clasificación de la cobertura terrestre con fines del estudio de conectividad:**

Se realizó la clasificación supervisada en el área de influencia de conectividad para obtener las coberturas píxel a píxel, de este modo se pretende tener una representación discreta de la idoneidad de hábitat para las especies en la totalidad del área de influencia. Para la clasificación supervisada se utilizaron las coberturas terrestres elaboradas para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote como áreas de entrenamiento. Así mismo, se enriqueció la imagen satelital con bandas provenientes del análisis de componentes principales. Todo lo anterior para dar solidez a la información radiométrica (ráster multibanda) y temática (clases de cobertura) de la clasificación supervisada.

Las clases temáticas se agruparon para obtener clases homogéneas en bosques, vegetación secundaria, cultivos, pastos, cuerpos de agua artificiales y suelos desnudos construcciones y zonas de extracción mineras.

El objetivo de crear las clases de coberturas terrestres es proporcionar a los profesionales, que participan en el panel de expertos para la calificación de la variable frente a la ecología de las especies, una clasificación temática que facilite la actividad de calificación. Es más intuitivo calificar una clase temática que un rango de valores de NDVI.

Por ejemplo, calificar los extremos del rango de valores de NDVI de 0.367 a 0.65 es poco intuitivo, pero calificar un valor mínimo y máximo de idoneidad de hábitat para la cobertura pasto es mucho más natural para un experto. Además, el comportamiento del NDVI se ve influenciado por las condiciones específicas del día de la toma de la imagen, condiciones como la humedad por lluvia pueden alterar las mediciones de la banda del infrarrojo y modificar los valores del NDVI para la imagen, por lo que manejar valores absolutos y estandarizados de NDVI para las calificaciones de la variable no es procedente.

- **Segmentación del NDVI por clase de cobertura**

Una vez obtenida la clasificación de coberturas terrestres, se procede a segmentar el ráster de NDVI por los pixeles correspondientes a cada cobertura. De esta manera, todos los pixeles del ráster de NDVI que correspondan a una clasificación de cobertura conforman la máscara de análisis para el cálculo de la calificación de dicha clase temática. La Figura 2.44 ilustra la segmentación del NDVI para una clase de cobertura a manera de ejemplo.

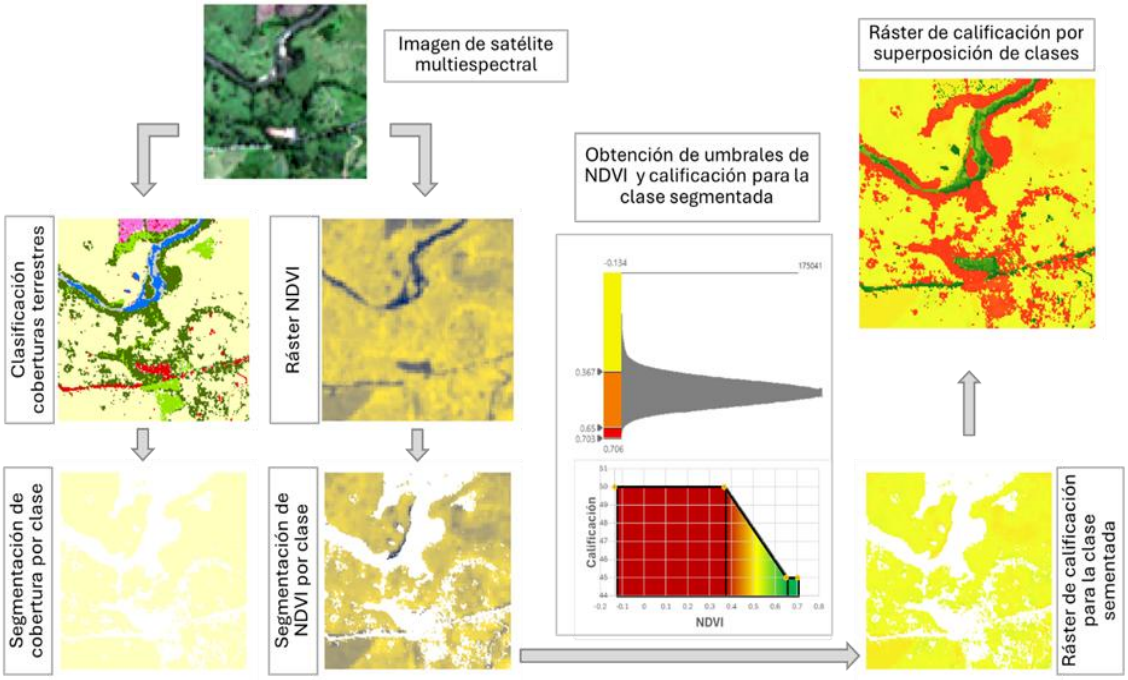


Figura 2.44 Esquema de calificación del NDVI para clase de cobertura

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Asignación de calificaciones**

Para cada clase se definieron los valores inicial y final de “idoneidad de hábitat” (NDVI_ini y NDVI_fin), obtenidos mediante estadística zonal a partir de los polígonos de entrenamiento:

A NDVI_ini se le asignó la calificación mínima (Cal_min).

A NDVI_fin se le asignó la calificación máxima (Cal_max).

Los valores intermedios se calcularon por interpolación lineal entre los puntos P1(NDVI_ini, Cal_min) y P2(NDVI_fin, Cal_max).

Los valores inferiores a NDVI_ini recibieron la calificación mínima y los superiores a NDVI_fin la máxima.

La interpretación de la asignación de calificación se muestra de manera esquemática en las Figura 2.45 y Figura 2.46.

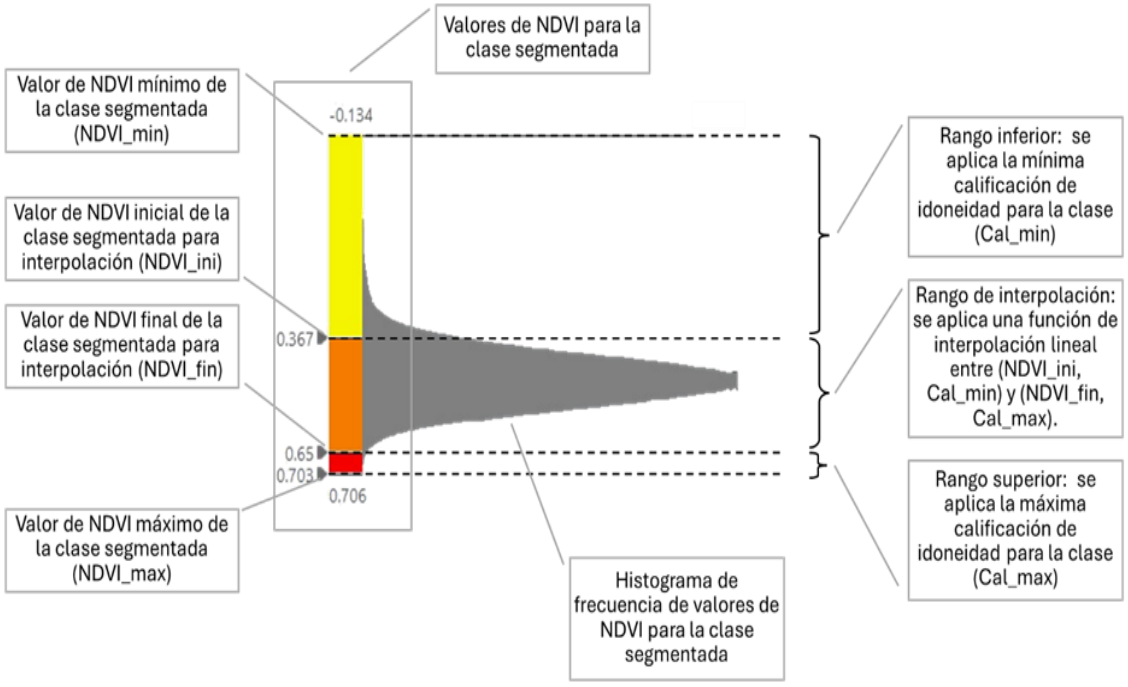


Figura 2.45 Esquema de definición de umbrales para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle

Fuente: Integral S.A., 2025

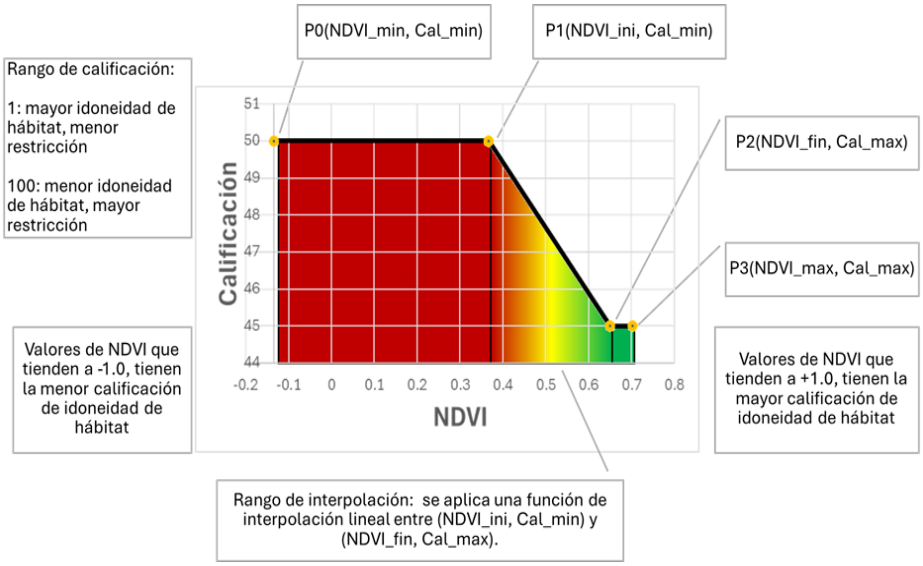


Figura 2.46 Esquema de rangos de interpolación para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Integración de resultados**

Por último, los rásters segmentados de calificación, obtenidos en el paso anterior, son superpuestos de nuevo para crear el nuevo ráster completo de calificación de la variable. En la Figura 2.47 se ilustra el procedimiento completo para la obtención de los valores de clasificación por el método propuesto.

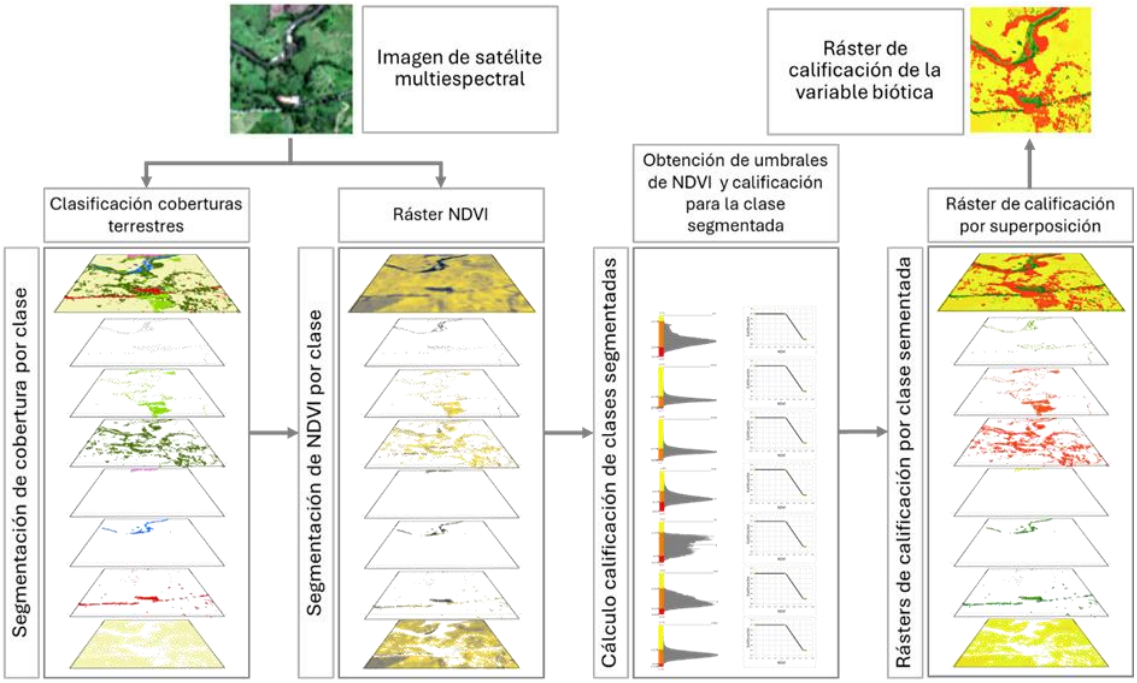


Figura 2.47 Esquema de procedimiento para la obtención del ráster de calificación de la variable NDVI

Fuente: Integral S.A., 2025

En la Figura 2.48 se muestra la representación de la variable biótica NDVI producto de aplicar el proceso descrito anteriormente.

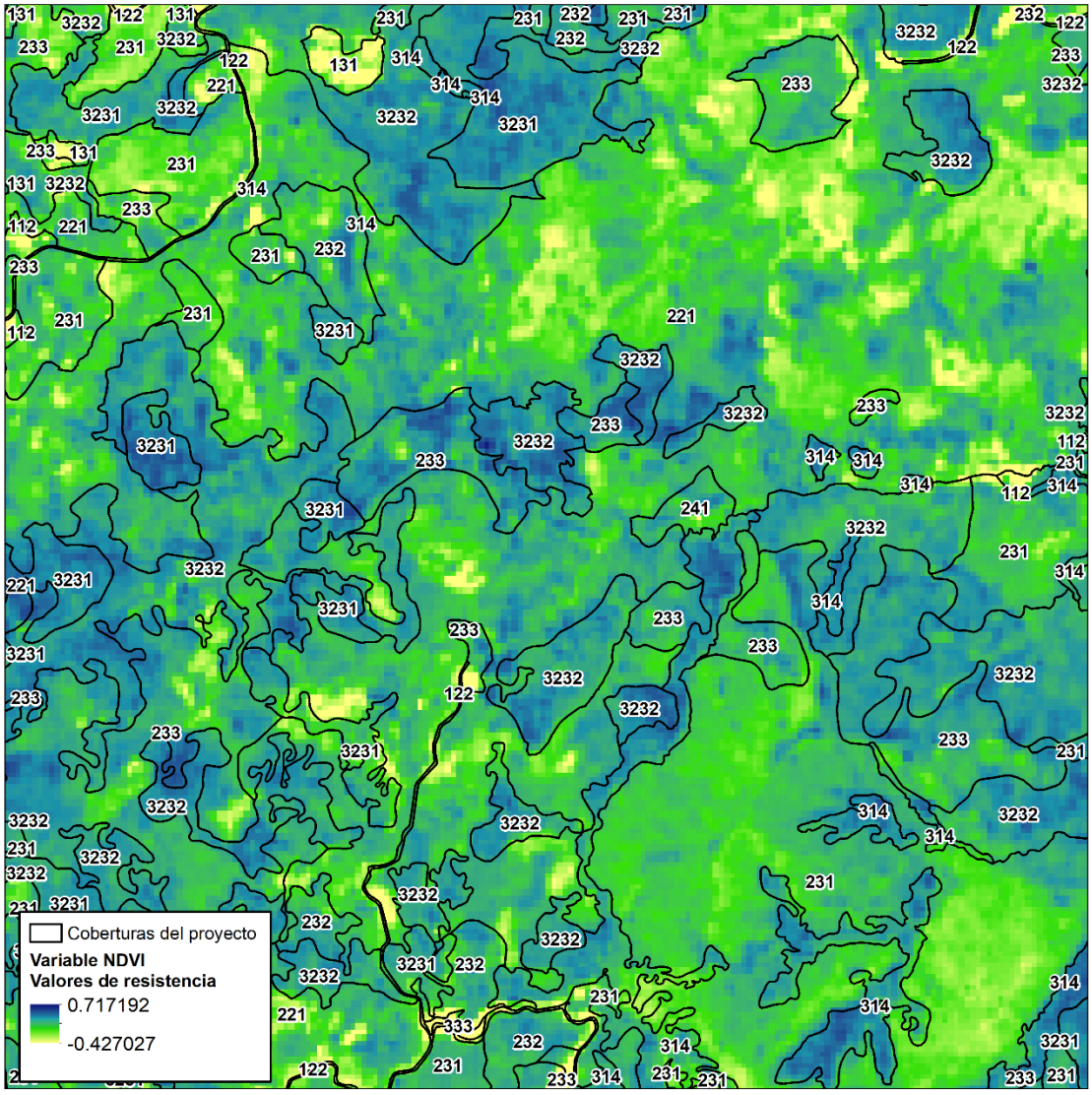


Figura 2.48 Representación esquemática del NDVI segmentado por tipo de cobertura

Fuente: Integral S.A., 2026

Como se mencionó anteriormente, se emplearon clases de coberturas terrestres con el fin de proporcionar a los profesionales que participan en el panel de expertos para la calificación de la variable frente a la ecología de las especies, una clasificación temática que facilite la actividad de calificación. La reclasificación de coberturas tuvo en cuenta las clases *Bosques naturales y plantados, Vegetación secundaria*, *Zonas cultivadas*, *Pastos y otros territorios antropizados*, *Cuerpos de agua naturales y artificiales*, *Suelo desnudo (que incluye tierras desnudas y degradadas y zonas arenosas naturales)*, *Construcciones (que incluye tejido urbano, zonas industriales o comerciales, red vial y territorios asociados)*, y *Zonas de extracción minera*.

Específicamente para el proyecto se utilizaron los valores umbrales de NDVI y calificación de la variable por clase de cobertura mostrados en la en las columnas Valor NDVI.

Por otro lado, en cuanto a ecología de especies, la calificación de la variable biótica para la especie E1 y E2 se hizo basada en sus preferencias de hábitat. El tigrillo *L. pardalis* (E1) habita bosques húmedos y secos tropicales, sabanas, manglares y dentro de estos tipos de hábitats suelen asociarse a cubiertas vegetales densas (Payán Garrido E., 2012) (Garrote Germán, 2019). Por su parte la E2 *O. leucopus* habita en bosques maduros y bosques en regeneración (bosque fragmentado, bosque denso, bosque de galería) y los bordes de bosque (Sánchez-Londoño Juan D., 2013) (Pinzón Zuly V., 2013).

Los elementos que no representan hábitat se calificaron de manera más restrictiva, pero esto no quiere decir que la especie no pueda moverse sobre estos elementos, de hecho, ambas especies pueden utilizar coberturas vegetales abiertas o transformadas como zonas de paso y forrajeo. Por ejemplo, la E1 *L. pardalis* tiene registros de presencia en plantaciones de palma de aceite y como zonas de paso usa áreas abiertas como caminos, senderos y carreteras (Payán Garrido E., 2012). Por otro lado, la E2 *O. leucopus* también se pueden observar en mosaico de pastos y cultivos, mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, mosaico de pastos y espacios naturales, pastos enmalezados, pastos limpios y café (Pinzón Zuly V., 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, la tabla presenta calificaciones con valores iniciales y finales para las especies E1 y especie E2 teniendo en cuenta su preferencia de hábitat particular calificando de 1-100 en cuanto a la exuberancia o verdor en la vegetación: por ejemplo, los valores más cercanos a 1 como los de más exuberancia o verdor para la clase bosques principalmente y valores más cercanos a 100 como los de menos exuberancia como para la clase territorios artificializados (Tabla 2.121).

Tabla 2.121 Calificación de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2

Variable NDVI								
Clasificación Cobertura	E1 *Leopardus pardalis*				E2 *Oedipomidas leucopus*			
	Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI		Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI	
	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final
Aeropuerto	90	100	0,256786	0,555841	100	100	0,256786	0,555841
Bosques	1	1	-0,0889625	0,717192	1	1	-0,0889625	0,717192
Bosque denso	1	1	0,0731463	0,707468	1	1	0,0731463	0,707468
Bosque fragmentado	1	1	0,0617551	0,707725	1	1	0,0617551	0,707725
Bosque de galería y/o ripario	1	1	-0,102951	0,711973	1	1	-0,102951	0,711973
Cuerpos de agua	70	70	-0,427027	0,636887	70	70	-0,427027	0,636887
Cuerpos de agua artificiales	70	75	-0,0064078	0,585522	70	75	-0,0064078	0,585522
Cultivos	45	55	-0,0889625	0,69199	45	55	-0,0889625	0,69199
Cultivos permanentes arbóreos	55	75	0,184068	0,634032	70	80	0,184068	0,634032
Cultivos permanentes arbustivos	45	55	0,170645	0,599814	45	55	0,170645	0,599814
Cultivos permanentes herbáceos	60	75	0,0138844	0,667934	70	80	0,0138844	0,667934
Instalaciones recreativas	90	100	0,0997067	0,610466	95	100	0,0997067	0,610466
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	70	75	-0,0446715	0,568702	70	75	-0,0446715	0,568702
Mosaico de cultivos	50	60	0,0567879	0,694523	70	80	0,0567879	0,694523
Mosaico de cultivos y espacios naturales	40	50	0,122432	0,669322	50	60	0,122432	0,669322
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	40	50	0,0191926	0,640296	40	50	0,0191926	0,640296
Mosaico de pastos y cultivos	50	60	0,0608529	0,693952	70	80	0,0608529	0,693952
Mosaico de pastos con espacios naturales	40	50	0,29349	0,577501	50	60	0,29349	0,577501
Pastos	45	55	-0,0889625	0,700289	65	75	-0,0889625	0,700289
Pastos arbolados	45	55	0,00467933	0,688568	65	75	0,00467933	0,688568

Variable NDVI								
Clasificación Cobertura	E1 *Leopardus pardalis*				E2 *Oedipomidas leucopus*			
	Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI		Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI	
	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final
Pastos enmalezados	30	50	0,0339191	0,694559	65	75	0,0339191	0,694559
Pastos limpios	45	55	-0,13355	0,70622	75	90	-0,13355	0,70622
Plantación forestal	1	10	0,0936556	0,691675	25	35	0,0936556	0,691675
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	90	100	-0,0148148	0,659617	90	100	-0,0148148	0,659617
Ríos (50 m)	70	75	-0,172657	0,62924	70	75	-0,172657	0,62924
Suelo desnudo	70	80	-0,12339	0,681928	95	100	-0,12339	0,681928
Tejido urbano continuo	90	100	-0,191442	0,624594	95	100	-0,191442	0,624594
Tejido urbano discontinuo	90	100	-0,0730223	0,654229	95	100	-0,0730223	0,654229
Territorios artificializados	90	100	-0,427027	0,694229	95	100	-0,427027	0,694229
Tierras desnudas y degradadas	70	80	0,00899428	0,592135	95	100	0,00899428	0,592135
Vegetación secundaria o en transición	1	10	-0,0340136	0,710435	1	10	-0,0340136	0,710435
Vegetación secundaria alta	1	10	0,0566038	0,701439	1	10	0,0566038	0,701439
Vegetación secundaria baja	10	20	0,0272745	0,68345	50	60	0,0272745	0,68345
Zonas arenosas naturales	70	80	-0,099187	0,621787	95	100	-0,099187	0,621787
Zonas de extracción minera	100	100	-0,0837715	0,623543	100	100	-0,0837715	0,623543
Zonas industriales o comerciales	90	100	-0,0304016	0,643711	95	100	-0,0304016	0,643711
Zonas quemadas	80	90	0,123631	0,586207	80	90	0,123631	0,586207

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Variables abióticas

Cruzar o no cruzar el límite de hábitats adecuados es el primer componente conductual que conduce a la dispersión, y para varios taxones de fauna, la evasión y la reticencia (restricción) a cruzar el límite del hábitat depende de la permeabilidad del paisaje y la habilidad del organismo para identificar esos límites (Baguette M., 2007). Las variables abióticas pretenden la inclusión de los elementos físicos del paisaje que pueden representar una restricción (barrera física) o resistencia (evasión) al movimiento e influyen en las funciones ecológicas de la biodiversidad. Los elementos físicos se obtuvieron a partir de la cartografía base disponible, considerando elementos como las construcciones -ya sean de núcleos urbanos o viviendas dispersas- y los ejes viales como vías nacionales, intermunicipales, entre otras.

Es importante aclarar que para la calificación de las variables físicas se aplicaron funciones de atenuación con el fin de modelar qué tanto percibe en términos de la variable un individuo a una distancia de 0 metros del elemento y a qué distancia el elemento ya no tiene ningún efecto sobre el comportamiento de la movilidad del individuo. La función de atenuación busca representar espacialmente el efecto de los elementos abióticos del territorio sobre las especies evaluadas. En el caso de las variables abióticas del presente estudio, el efecto negativo de estas variables es más pronunciado cuando un individuo está más cerca del elemento, e irá disminuyendo este efecto a medida que la distancia al elemento aumenta. Para cada especie y para cada variable, la distancia final (df) fue obtenida por medio del taller de panel de expertos, y en caso de existir, a partir de publicaciones científicas. Esta distancia final (df) indica a partir de qué distancia un individuo ya no percibe negativamente la presencia de los elementos que conforman las variables abióticas. A partir de esta distancia se considera una calificación de 1 para la variable, es decir, se supone que más allá de la distancia final (df) se tendrán las condiciones del hábitat natural frente a la variable en cuestión. La función de atenuación puede entenderse como se muestra en el gráfico de atenuación de la Figura 2.49.

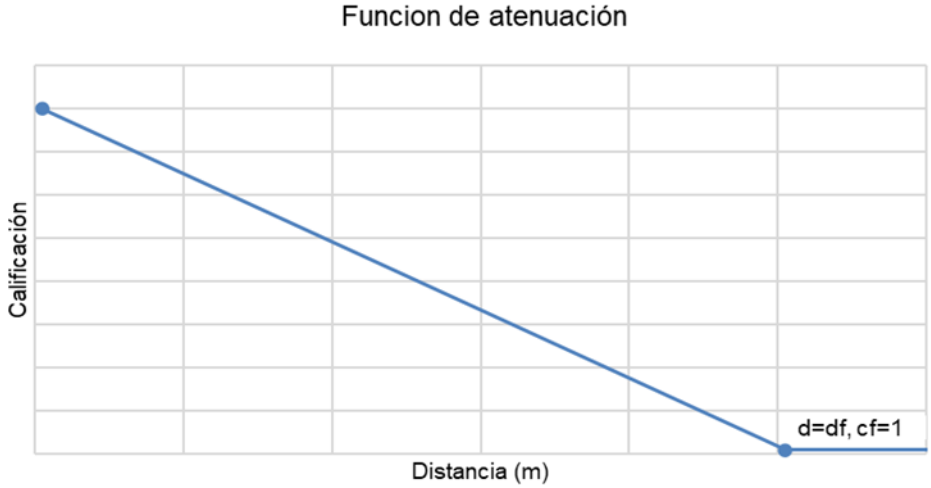


Figura 2.49 Función de atenuación para la calificación de variables abióticas

Fuente: Integral S.A., 2025

A continuación, se describen cada una de las calificaciones de las variables abióticas:

- **Variable Vías**

Esta variable incluye para la calificación elementos del paisaje como las vías correspondientes a vías nacionales o vías primarias, vías intermunicipales o vías secundarias

y vías carreteables o calles, carreras y vías veredales que ya existen en el territorio (escenario 0SP). Adicional a estos elementos viales, para el escenario con proyecto (1CPL y 2CPM) se incluye la infraestructura asociada a las vías internas del proyecto Minero (ver la Tabla 2.122). Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico nuevo en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies.

Tabla 2.122 Elementos viales del proyecto (0SP, 2CPL y 2CPM)

Grupo de clasificación de vías	**Escenario base**
Vías existentes	Sin proyecto (0SP)
Vía sustitutiva	Con proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías mineras	Con proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías operación no minera	Con proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Para la calificación de cada una de las vías, se tiene en cuenta los efectos ecológicos que tienen en la biodiversidad. Para la conectividad, las vías presentan efectos como la fragmentación, el efecto barrera, el efecto borde por mencionar algunos (Forman R. T., 1998). Para la fauna, los efectos de los ejes viales son indirectos como perdida y disminución del hábitat, degradación del hábitat y efecto barrera y efectos directos como atropellamiento ya sea por atracción o incidental y ruido (Shannon G., 2016) (Benítez J. A., 2021a).

Para entender hasta dónde puede llegar estos efectos directos e indirectos se contempló el concepto de la zona de efecto de las vías o *Road-effect zone* analizado por Forman y colaboradores (Forman R. T., 1998), el cual se define cómo el área del paisaje adyacente hacia donde se extienden los impactos ecológicos de la vía y el tráfico (Forman R. T., 1998). La cantidad del hábitat que se ve afectada por la *zona de efecto de las vías* depende de las características locales donde se desarrolla cada proyecto. Benítez y colaboradores (Benítez J. A., 2021a) establece que los efectos de vías terrestres sobre la fauna son más intensos dentro de los primeros 100 m de la vía, a partir de donde se presenta una atenuación de los diferentes efectos hasta desaparecer alrededor de un kilómetro de distancia, con algunos casos donde la perturbación puede alcanzar cerca de 3 km (Benítez J. A., 2021a) como lo muestra la Figura 2.50.

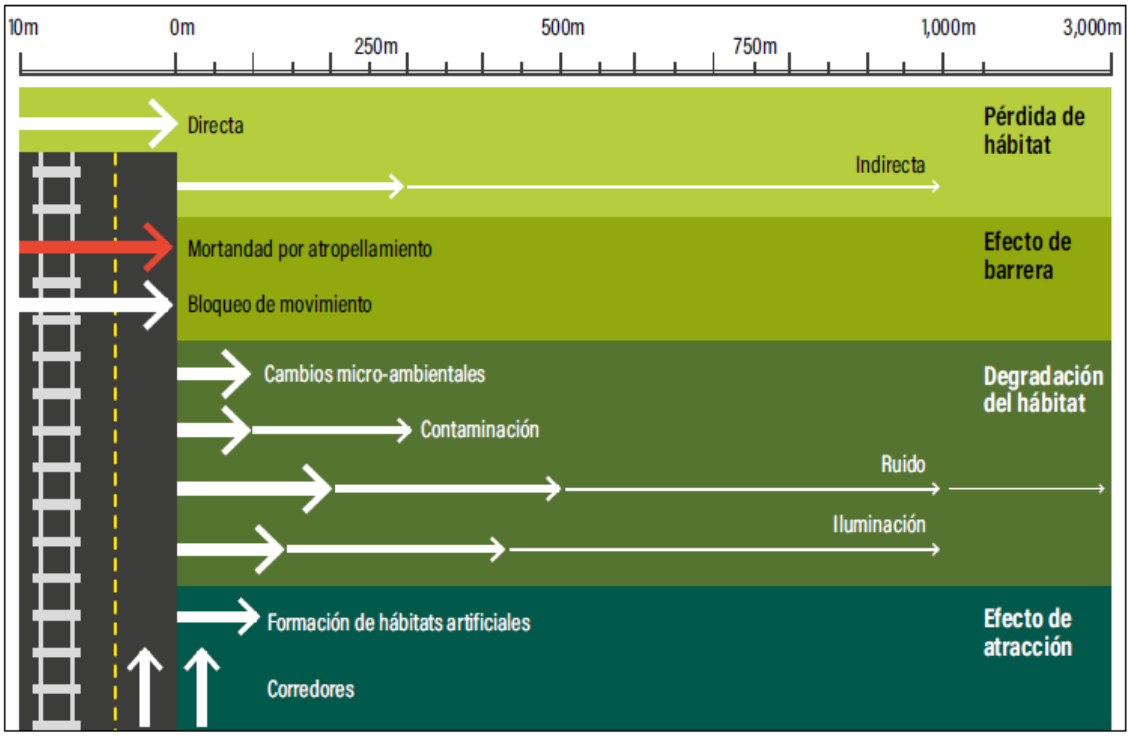


Figura 2.50 Traslape y magnitud de los impactos generados por las vías de comunicación terrestre

Fuente: (Benítez J. A., 2021a), modificado por Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, la variable fue calificada partiendo de la propuesta de (Benítez J. A., 2021a), considerando los efectos indirectos de pérdida y degradación del hábitat y efecto barrera y se tuvo en cuenta la ecología de cada especie objeto de estudio pues de acuerdo con el tipo de desplazamiento, cada especie puede ser más vulnerable o no a los efectos de los ejes viales. La función de atenuación tuvo en cuenta a una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final en metros que varió dependiendo del tipo de clasificación del eje vial. Como hay una distancia inicial y final también tienen una calificación inicial y una final. Adicionalmente, a cada eje vial se le asigna un buffer teniendo en cuenta el tipo de vía, ya que, en la cartografía base, estos elementos se encuentran como línea.

La calificación se muestra en la Tabla 2.123 y la representación esquemática de esta calificación y su función de atenuación se muestra en la Figura 2.51.

Tabla 2.123 Calificación de la variable abiótica vías

Elementos	E1 *Leopardus pardalis*				E2 *Oedipomidas leucopus*				
	Di	Ci	Df	Cf	Di	Ci	Df	Cf	Buffer
Tipo 1	0	100	750	1	0	100	750	1	15
Tipo 2	0	85	500	1	0	75	500	1	10
Tipo 3	0	75	500	1	0	25	500	1	7,5
Tipo 4	0	40	400	1	0	40	400	1	7,5
Tipo 5	0	40	300	1	0	40	300	1	7,5
Tipo 6	0	15	300	1	0	1	300	1	5
Tipo 7	0	1	100	1	0	1	100	1	2,5
Vía sustitutiva cristales	0	40	400	1	0	40	400	1	10
Vías Operación	0	40	400	1	0	40	400	1	10
Vías Mineras	0	85	400	1	0	85	400	1	10

*Abreviaturas: Di: distancia inicial, Df: distancia final, Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2025

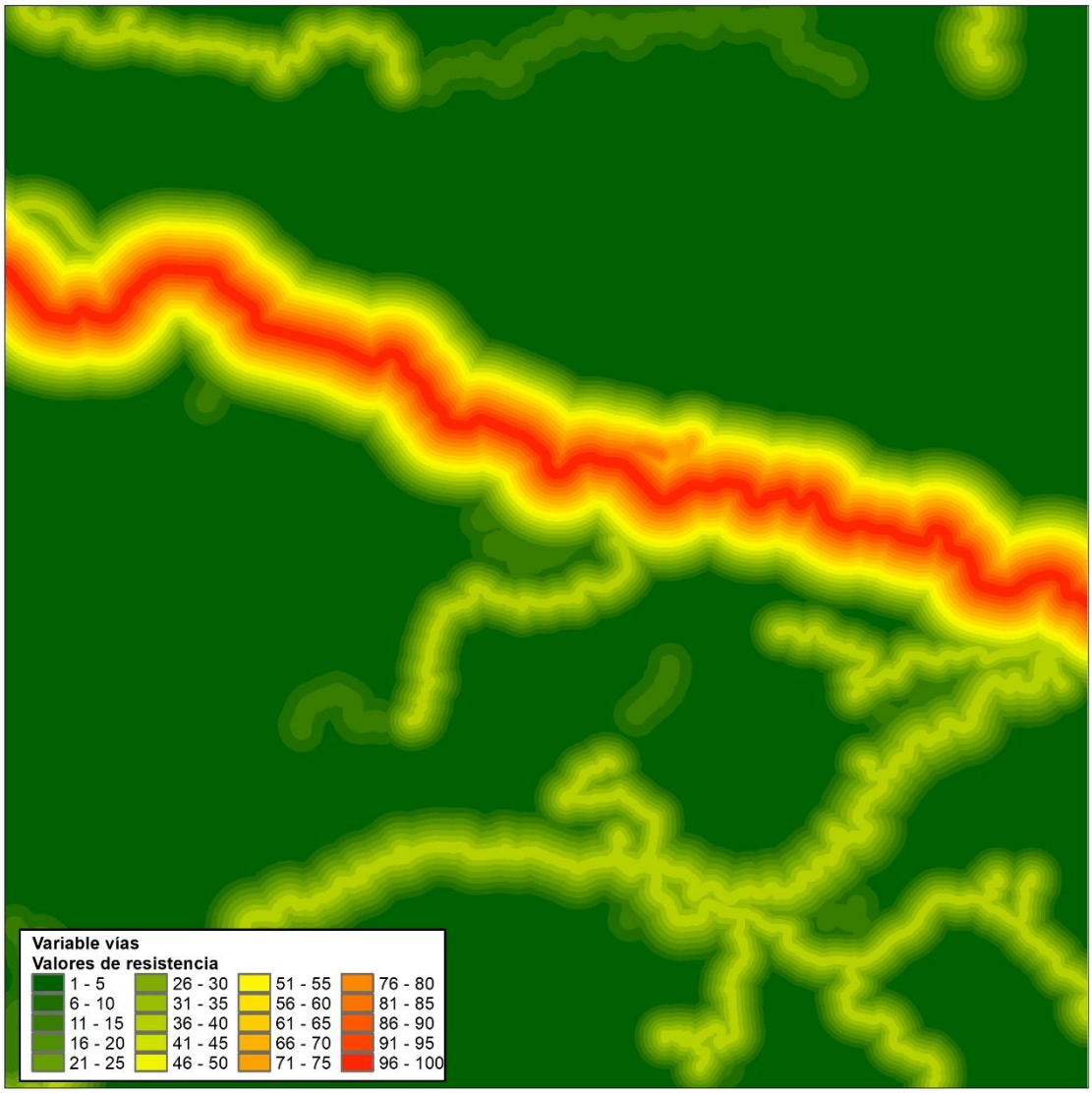


Figura 2.51 Representación esquemática de la variable vías

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable construcciones**

Esta variable incluye para la calificación elementos del paisaje como las construcciones, viviendas dispersas correspondientes a las fincas y casas dispersas en las afueras y áreas rurales del paisaje y núcleos urbanos como caseríos y corregimientos en el territorio (escenario 0SP), toda esta información a partir de la cartografía base. Adicional a estos elementos, para el escenario con proyecto (1CPL y 2CPM) se incluye la infraestructura asociada al proyecto del proyecto Minero, presentados en la Tabla 2.124. Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies.

Tabla 2.124 Elemento construcciones del proyecto (0SP, 2CPL y 2CPM)

Grupos de clasificación	Escenario base
Núcleos urbanos	Sin proyecto (0SP)
Viviendas dispersas	Sin proyecto (0SP)
Áreas de Servicio	Con proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Campamentos	Con proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Mineras	Con proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas No Mineras	Con proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez identificados los elementos, la calificación de cada uno, tuvo en cuenta los efectos ecológicos que le aportan a la biodiversidad. Se hizo una revisión bibliográfica sobre efectos que aportan las construcciones, encontrando que la urbanización, además de aportar a la pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal natural, altera el entorno sensorial mediante la iluminación nocturna artificial y el ruido antropogénico, las cuales tiene consecuencias negativas para la fauna silvestre y sus comunidades ecológicas, aunque hay evidencias de respuestas específicas a esta perturbaciones de cada especie a los entornos sensoriales alterados, pues hay evidencia de especies que evitan estas áreas con perturbaciones mientras que otras las aprovechan (Willems, 2022). La iluminación nocturna artificial puede afectar el comportamiento y la fisiología de la fauna tanto diurna como nocturna (Bennie J., 2015) (Shier D. M., 2020) (Willems, 2022). El ruido ambiental e industrial puede afectar la fisiología y la conducta de la fauna (Broucek J., 2014), afectando de manera específica los diferentes taxones; específicamente, taxones como los mamíferos muestran afectación en su conducta y fisiología cuando están expuestos a ruidos ambientales o industriales a partir de los 50 decibeles (50dB) (Shannon G., 2016) (Erbe C., 2022).

Sin embargo, para entender el alcance de estos efectos desde la fuente en un paisaje y hasta donde afectan a la fauna, se revisaron los datos disponibles sobre el alcance geográfico tanto de la luz artificial como del ruido ambiental e industrial. En cuanto a la amplitud o alcance geográfico, para la luz artificial, no se encontraron datos puntuales para mamíferos terrestres, salvo un estudio sobre los efectos de desplazamiento de la luz artificial en murciélagos, mostrando distancias de desplazamiento de 75 m de la fuente de luz artificial (Seewagen C., 2023). Por otro lado, la amplitud o alcance geográfico para el ruido ambiental dependerá de otros factores ambientales como el hábitat adyacente, la topografía, el viento, entre otros. Un estudio de (Benítez J., 2021b) que analiza la contaminación de fuentes fijas y móviles (maquinaria), presenta niveles de ruido promedio (dB) por tipo de fuente y distancias desde la fuente, mostrando que para determinadas fuentes tanto fijas como móviles a distancias de la fuente mayores a 350 metros el ruido ambiental está por debajo de 50 dB (Benítez J., 2021b) (ver la Figura 2.52).

Fuente de ruido	Distancia de la fuente (m)				
	5	50	100	150	350
Fijas					
CPTGA	85-90	71-75	55-57	45-52	NF-47
Procesadora de concreto	89-94	75-79	59-62	42-58	RF
Generador eléctrico	89-92	74-77	56-61	43-54	RF
Semiestacionarias					
Grúas	70-75	60-68	35-39	RF	RF
Camiones de carga (< 20 km/h)	78-85	65-70	38-40	RF	RF
Móviles en terracería					
Camiones con carga (< 40 km/h)	83-89	69-75	55-57	NF-50	RF
Camiones sin carga (> 40 km/h)	90-95	75-80	60-62	50-57	NE-47
Móviles en carretera					
Motocicletas	72-82	62-70	38-51	NF-47	RF
Automóviles y v. utilitarios	70-77	59-68	35-48	NF-47	RF
Autobuses	72-82	61-71	39-51	NF-48	RF
Carga y tractocamiones	80-88	66-72	52-58	NF-51	RF
Tráiler de contenedores	84-98	70-80	57-65	49-59	NF-48

RF = Ruido de fondo (ambiental o biofonías)

La mayor parte de la fauna presenta efectos biológicos al ruido	> 80 dB
Aves, algunos anfibios, reptiles y mamíferos se ven afectados	60-80 dB
Principalmente aves y mamíferos sensibles se ven afectados	40-60 dB
No existen reportes de impacto a la fauna	< 40 dB

Figura 2.52 Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos

Fuente: (Benítez J., 2021b) modificado por Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, la variable fue calificada teniendo en cuenta la propuesta de (Benítez J., 2021b), teniendo en cuenta la información de las fuentes fijas y móviles, ya que estas fuentes están asociadas a las construcciones por las dinámicas, sobre todo de los núcleos urbanos y aportan a gran parte del ruido ambiental e industrial. La calificación tuvo en cuenta una función de atenuación, partiendo de a una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final en metros que varía con respecto al tipo de elemento. Las distancias de atenuación no solo incluyen no solo el dato de atenuación de la luz artificial (75 metros) de (Seewagen C., 2023) sino también la atenuación del ruido de fuentes fijas de (Benítez J., 2021b). La calificación también tuvo en cuenta los datos disponibles sobre comportamiento de las especies en cuanto a su tolerancia a perturbaciones antrópicas.

La calificación se muestra en la Tabla 2.125 y la representación esquemática de esta calificación y su función de atenuación se muestra en la Figura 2.53.

Tabla 2.125 Calificación de la variable abiótica construcciones

Variable Construcciones								
	E1 *Leopardus pardalis*				**E2 *Oedipomidas leucopus***			
	d_i	cal_i	d_f	Cal_f	d_i	cal_i	d_f	Cal_f
Viviendas dispersas	0	75	100	1	0	65	100	1
Núcleos urbanos	0	100	150	1	0	100	150	1

Variable Construcciones								
	E1 *Leopardus pardalis*				E2 *Oedipomidas leucopus*			
	d_i	cal_i	d_f	Cal_f	d_i	cal_i	d_f	Cal_f
Plataformas Campamentos	0	100	150	1	0	100	150	1
Zonas industriales	0	100	450	1	0	100	450	1
Plataformas Mineras	0	100	500	1	0	100	500	1
Plataformas No Mineras	0	100	350	1	0	100	350	1

*Abreviaturas: Di: distancia inicial, Df: distancia final, Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2025

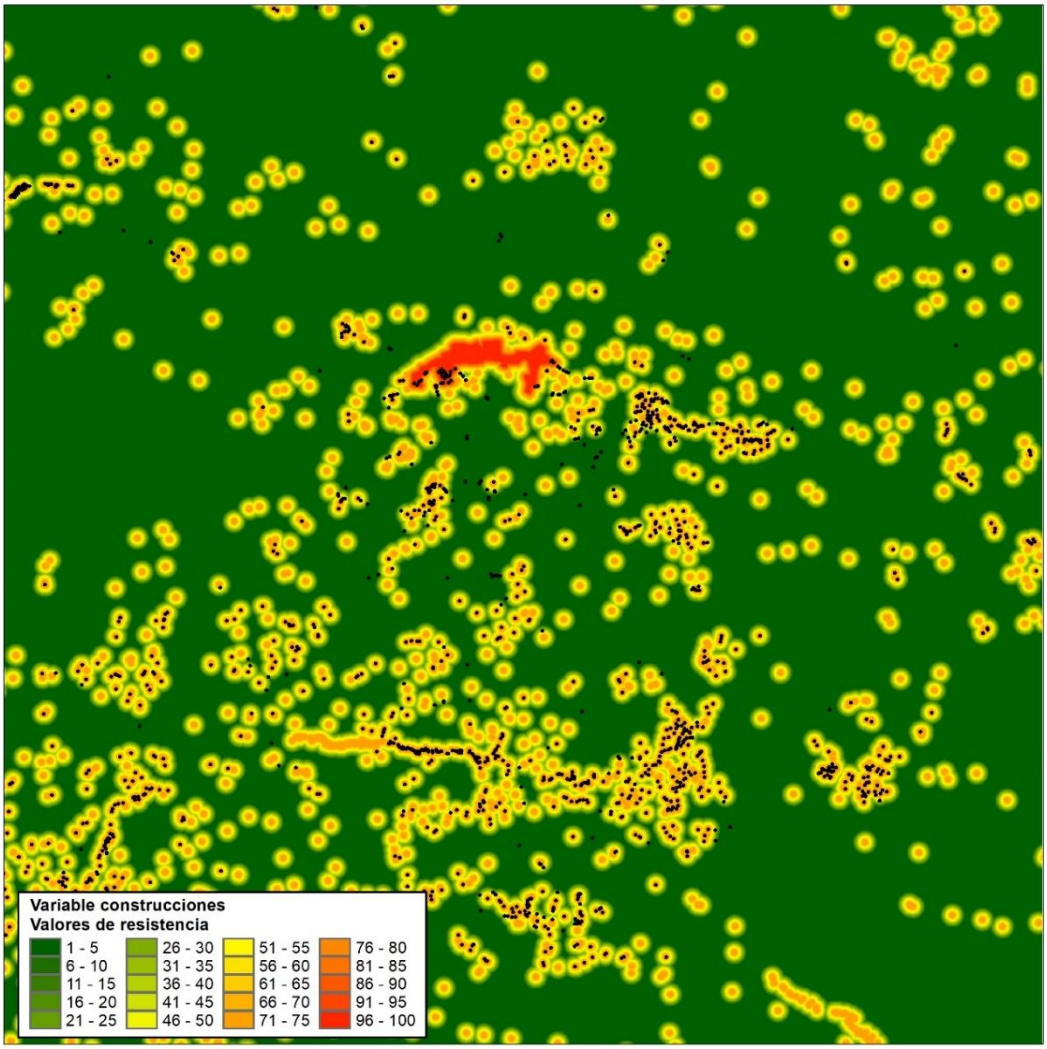


Figura 2.53 Representación esquemática de la variable construcciones

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable Pendientes**

Para el análisis de conectividad, la variable pendiente se construyó a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT) disponible para el proyecto. Su reclasificación se realizó en términos de resistencia al movimiento de las especies. Esta variable se incorporó al modelo para representar los cambios morfológicos en el territorio derivados de las actividades del proyecto, como la conformación de depósitos de materiales y las zonas de extracción minera.

Adicionalmente, aunque con un peso menor, se consideró su efecto en la región debido a la presencia de pendientes moderadas y altas que pueden actuar como barreras físicas al desplazamiento de las especies o representar áreas de costo excesivo, generando un mayor gasto energético y, en consecuencia, una mayor impedancia al movimiento.

La calificación se muestra en la Tabla 2.126 y la representación esquemática de esta calificación y su función de atenuación se muestra en la Figura 2.54.

Tabla 2.126 Calificación de la variable abiótica pendientes

Variable Pendientes				
Elementos	E1 *Leopardus pardalis* (Ci-Cf)		E2 *Oedipomidas leucopus* (Ci-Cf)	
	C_i	**C_f**	**C_i**	**C_f**
Plana (0 - 3 %)	1	25	1	1
Inclinada (3 - 25 %)	25	50	1	25
Ligeramente escarpada (25 - 50 %)	50	75	25	50
Moderadamente escarpada (50 - 75 %)	100	100	100	100
Totalmente escarpada (> 75 %)	100	100	100	100

*Abreviaturas: Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2026

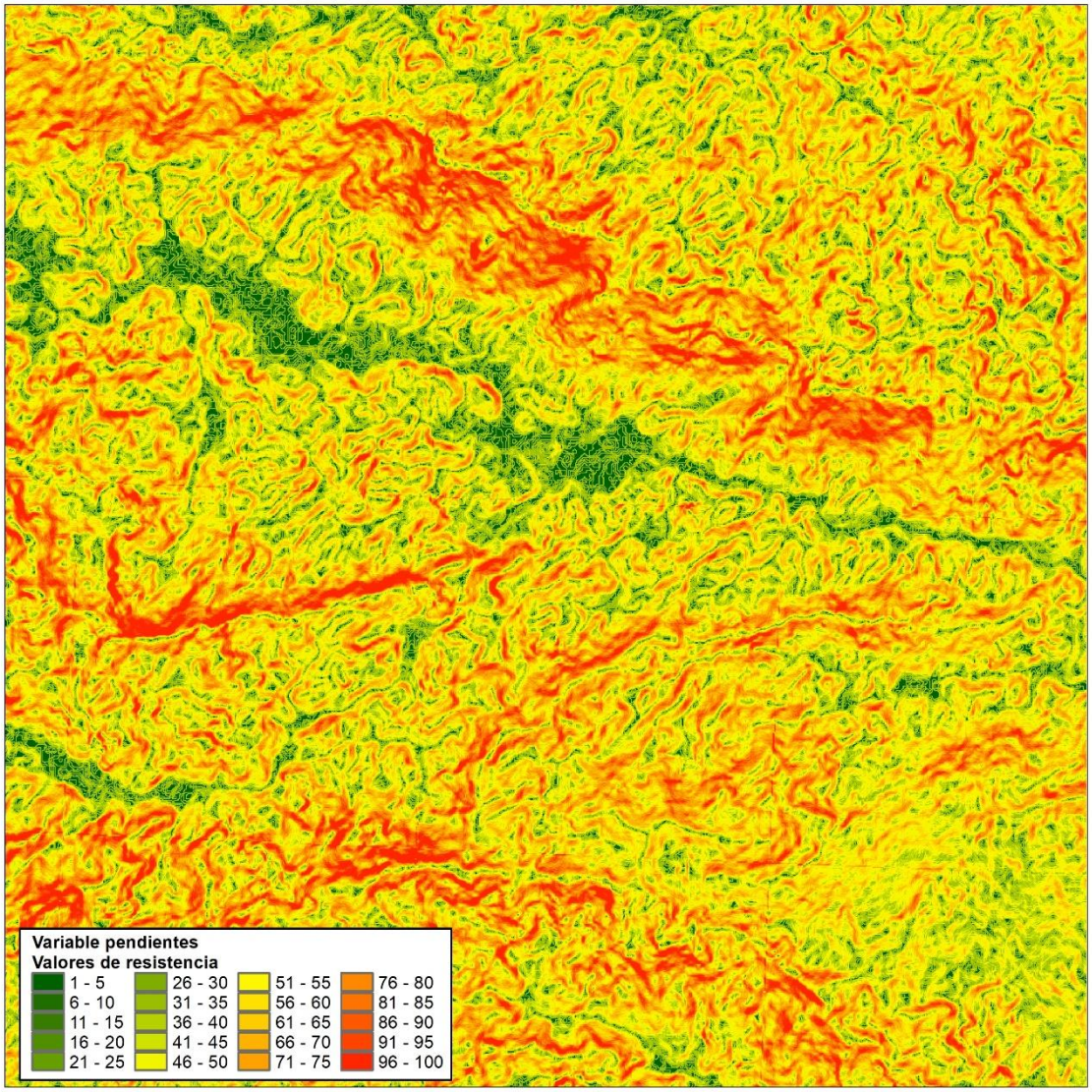


Figura 2.54 Representación esquemática de la variable pendientes

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable actividad Minera**

Esta variable es evaluada debido a los efectos del proyecto, sus obras y actividades en el paisaje ecológico y en la conectividad. Esta variable incluye para la calificación elementos del paisaje como las zonas de extracción minera que ya existen en el territorio (escenario 0SP). Adicional a estos elementos, para el escenario con proyecto (2CPL y 2CPM) se incluye las obras y actividades del proyecto Minero. Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico nuevo en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies. Los elementos de la actividad minera se muestran en la Tabla 2.127.

Tabla 2.127 Elementos de la actividad minera (0SP, 2CPL y 2CPM)

Grupos de clasificación	**Escenario base**
Áreas de extracción minera (existentes)	Sin Proyecto (0SP)
Depósitos mineros (1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)

Grupos de clasificación	Escenario base
Tajo Gramalote (1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Mineras (1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Presa (C1PL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías mineras (1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez identificados los elementos, la calificación de cada uno, tuvo en cuenta los efectos ecológicos que le aportan a la biodiversidad. Se hizo una revisión bibliográfica sobre efectos que aportan las actividades mineras, encontrando que además de aportar a la pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal natural (Sonter L.J., 2018) (Bandyopadhyay S., 2019) (Timsina, 2022), (Shanmukha N.T., 2024), el ruido de las actividades mineras aportan a los efectos en la fauna afectando la comunicación animal y por ende su comportamiento (Duarte M., 2015) (Mancera K, 2017). Algunas especies animales son capaces de ajustar sus señales acústicas para comunicarse en entornos ruidosos, por ejemplo, aumentando su amplitud, modificando las frecuencias, alterando la frecuencia de sus vocalizaciones, cambiando la duración de estas o modificando el momento en que las emiten por lo que esto altera la ecología del comportamiento, de defensa y escape y reproductiva (Duarte M., 2015).

Sin embargo, para entender el alcance de estos efectos desde la fuente en un paisaje y hasta donde afectan a la fauna, se revisaron datos disponibles sobre el alcance geográfico del ruido de la Minería. En cuanto a la amplitud o alcance geográfico, para la actividad minera no se encontraron datos puntuales de los efectos en la fauna, por lo que para esta variable se retomó el estudio de (Benítez J., 2021b) que analiza la contaminación de fuentes fijas y móviles (maquinaria), presenta niveles de ruido promedio (dB) por tipo de fuente y distancias desde la fuente, mostrando que para determinadas fuentes tanto fijas como móviles a distancias de la fuente mayores a 350 metros el ruido ambiental está por debajo de 50 dB (Benítez J., 2021b) (ver la Figura 2.55).

Fuente de ruido	Distancia de la fuente (m)				
	5	50	100	150	350
Fijas					
CPTGA	85-90	71-75	55-57	45-52	NF-47
Procesadora de concreto	89-94	75-79	59-62	42-58	RF
Generador eléctrico	89-92	74-77	56-61	43-54	RF
Semiestacionarias					
Grúas	70-75	60-68	35-39	RF	RF
Camiones de carga (< 20 km/h)	78-85	65-70	38-40	RF	RF
Móviles en terracería					
Camiones con carga (< 40 km/h)	83-89	69-75	55-57	NF-50	RF
Camiones sin carga (> 40 km/h)	90-95	75-80	60-62	50-57	NE-47
Móviles en carretera					
Motocicletas	72-82	62-70	38-51	NF-47	RF
Automóviles y v. utilitarios	70-77	59-68	35-48	NF-47	RF
Autobuses	72-82	61-71	39-51	NF-48	RF
Carga y tractocamiones	80-88	66-72	52-58	NF-51	RF
Tráiler de contenedores	84-98	70-80	57-65	49-59	NF-48

RF = Ruido de fondo (ambiental o biofonías)

La mayor parte de la fauna presenta efectos biológicos al ruido	> 80 dB
Aves, algunos anfibios, reptiles y mamíferos se ven afectados	60-80 dB
Principalmente aves y mamíferos sensibles se ven afectados	40-60 dB
No existen reportes de impacto a la fauna	< 40 dB

Figura 2.55 Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos

Fuente: (Benítez J., 2021b) modificado por Integral S.A., 2025

Si bien este estudio no presenta datos exactos de las actividades mineras, lo que se hizo fue utilizar la información de distancia y las biófonas del estudio de (Benítez J., 2021b), adaptándolas al ruido de las fuentes de la actividad minera del proyecto de Minería a cielo abierto Gramalote. Las fuentes de las actividades mineras y el dato de ruido en decibeles (dB) se muestra en la Tabla 2.128.

Tabla 2.128 Niveles de ruido y fuentes de ruido de las actividades del proyecto Gramalote

Fuente de ruido	Decibeles (dB) 0SP	Decibeles (dB) 1CPL	Decibeles (dB) 2CPM
Zonas de extracción minera (existentes)	70	-	-
Depósitos mineros *	-	85	88.5
Tajo	-	85	88.5
Vías Mineras*	-	73	92.4
Plataformas de minería*	-	76	81.5

Fuente: Integral S.A., 2025

Como se evidencia en la Tabla 2.128, la mayoría de los niveles de ruido sobrepasan los 100 dB, por lo que estas fuentes se les asignan una calificación altamente restrictiva, ya que de acuerdo con (Shannon G., 2016) y (Benítez J., 2021b) niveles de ruido por encima de > 80 dB presentas efectos para la mayor parte de la fauna (ver Figura 2.55).

Teniendo en cuenta lo anterior, la variable fue calificada teniendo en cuenta la propuesta de niveles de ruido de (Benítez J., 2021b), partiendo de una función de atenuación, con una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final en metros que varía con respecto al tipo de elemento, calificando los ruidos de fondo (ambiental) y ruidos medios altos que corresponden a zonas industriales mineras y extremos y en esta última categoría se encuentran todos las fuentes de la actividad minera de la Tabla 2.129.

La calificación se muestra en la Tabla 2.129 y la representación esquemática de esta calificación y su función de atenuación se muestra en la Figura 2.56.

Tabla 2.129 Calificación variable actividad minera

Elementos	**E1 *Leopardus pardalis* (Ci-Cf)**		**E2 *Oedipomidas leucopus* (Ci-Cf)**	
	C_i	**C_f**	**C_i**	**C_f**
RuidoFondo (<45 dB)	1	1	1	1
RuidoMedio (45-60 dB)	1	70	1	70
RuidoAlto (60-80 dB)	70	100	70	100
RuidoExtremo (>80 dB)	100	100	100	100

*Abreviaturas: Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2025

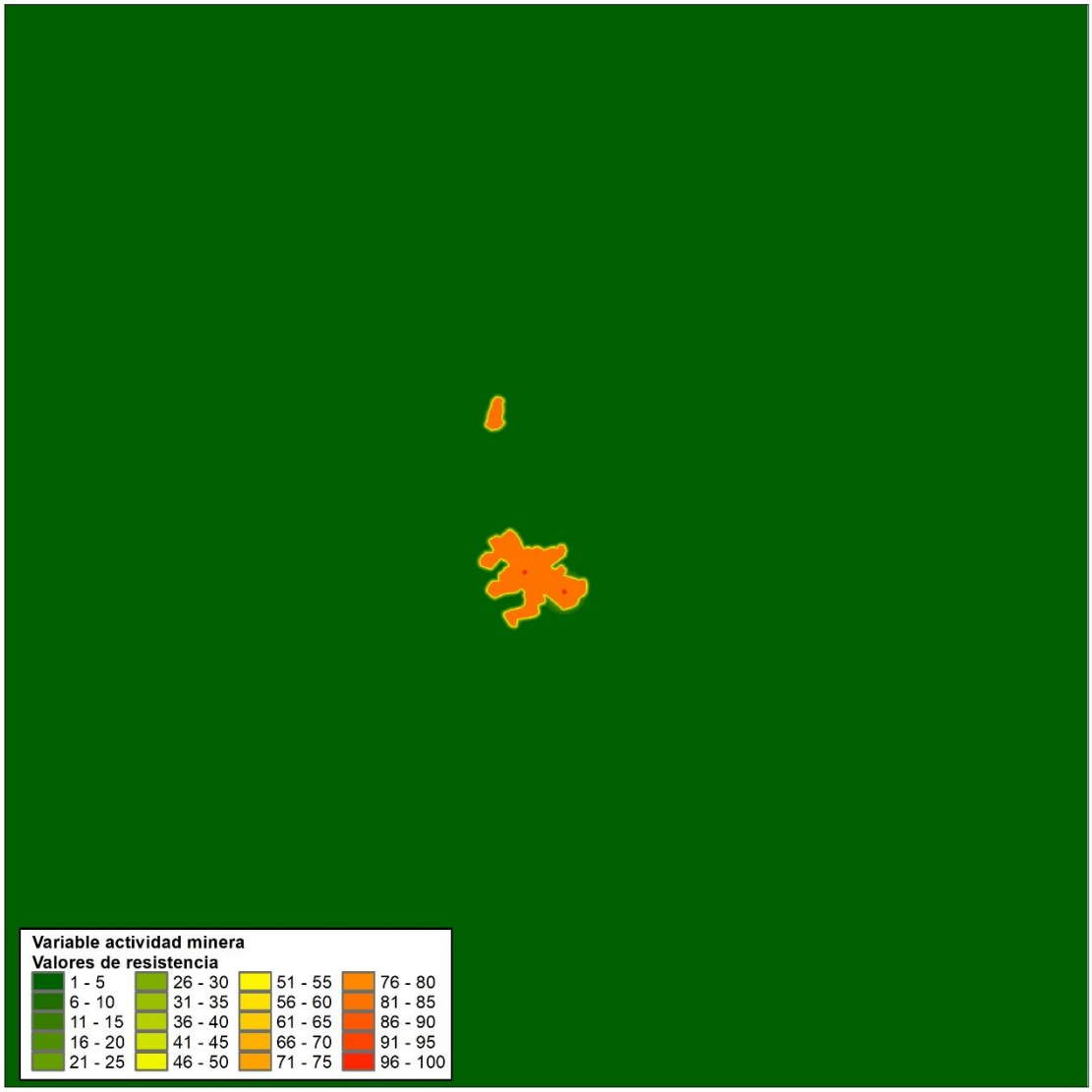


Figura 2.56 Representación esquemática de la variable actividades mineras

Fuente: Integral S.A., 2025

III. Ponderación de variables

El proceso de ponderación de las variables bióticas y abióticas se hacen con el fin de darle un peso a cada variable en cuanto a la importancia para las especies modeladas para obtener el ráster o matriz de resistencia total. Se le asigna un peso en porcentaje a cada variable individual dentro la variable principal (biótica o abiótica) y luego se les asignan los porcentajes a las variables principal. La variable con más peso en la calificación, para cada una de las especies, fue la variable biótica, pues esta variable se interpreta como esos elementos preferidos y potenciales para la fauna (hábitats) que en términos de matriz representan menos resistencia para el movimiento de las especies objeto de estudio. Por otro lado, las variables abióticas tuvieron variación de pesos para cada especie y esto se debió a la ecología de las especies y al efecto particular que ejercen las variables en su movimiento, siendo más restrictivo para la E2 al ser una especie de hábitos arborícolas en comparación con la E1 que es una especie de hábitos terrestres. Adicionalmente a lo anterior, también se hizo una

diferenciación según la escala de modelación, lo anterior teniendo en cuenta los objetivos del análisis regional frente al análisis a escala local.

La ponderación utilizada en la modelación a escala regional se muestra en la Tabla 2.130, y en la Tabla 2.131, se muestra la ponderación utilizada en la escala local, en la cual se evidencia un ajuste en los pesos para obtener mayor representatividad de los efectos locales.

Tabla 2.130 Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala regional

Variable	Nombre de la variable	Ponderación para la E1	Peso de la variable E1R	Ponderación para la E2	Peso de la variable E2
Biótica	NDVI	100%	60	100%	65
Abiótica	Vías	20%	40	22%	35
	Construcciones	35%		28%	
	Pendientes	10%		15%	
	Actividad Minera	35%		35%	

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.131 Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala local

Variable	Nombre de la variable	Ponderación para la E1	Peso de la variable E1R	Ponderación para la E2	Peso de la variable E2
Biótica	NDVI	100%	60	100%	65
Abiótica	Vías	15%	40	15%	35
	Construcciones	15%		15%	
	Pendientes	40%		40%	
	Actividad Minera	30%		30%	

Fuente: Integral S.A., 2026

c. Matriz de resistencia total para para los escenarios modelados (0SP, 1CPL y 2CPM)

El ráster o matriz de resistencia resulta de la ponderación de las variables bióticas y abióticas seleccionadas y calificadas para cada especie objeto de estudio, constituyéndose en una representación espacial del grado de resistencia al movimiento. Para el escenario 0SP la matriz de resistencia refleja las condiciones actuales del territorio, mientras que para los escenarios 1CPL y 2CPM dichas condiciones fueron actualizadas y ajustadas incorporando los efectos de las actividades y obras del proyecto. Las matrices de resistencia totales se presentan más adelante en los escenarios analíticos sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM) en dos escalas de análisis: escala regional y escala local. El esquema de la matriz de resistencia final 0SP se muestra en la Figura 2.57 en la figura para el escenario 1CPL Figura 2.58 y para el escenario 2CPM en la Figura 2.59.

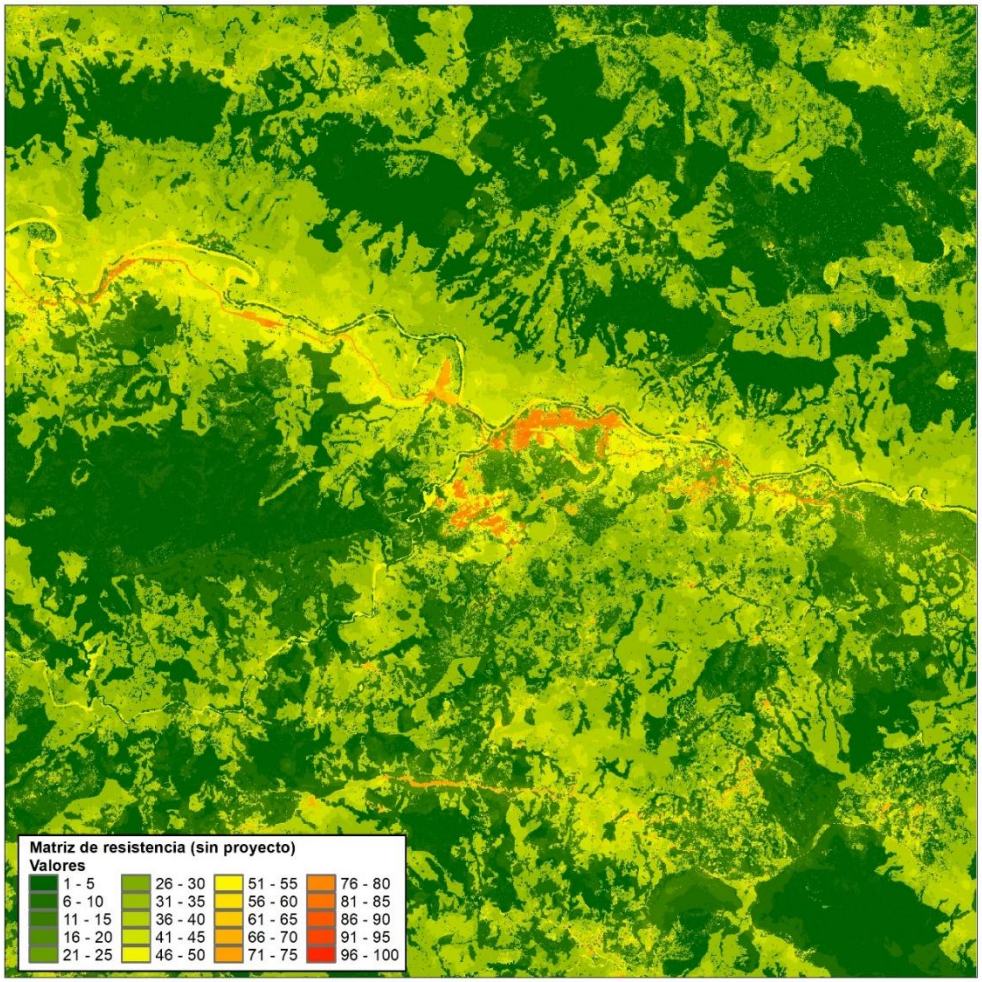


Figura 2.57 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario sin proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

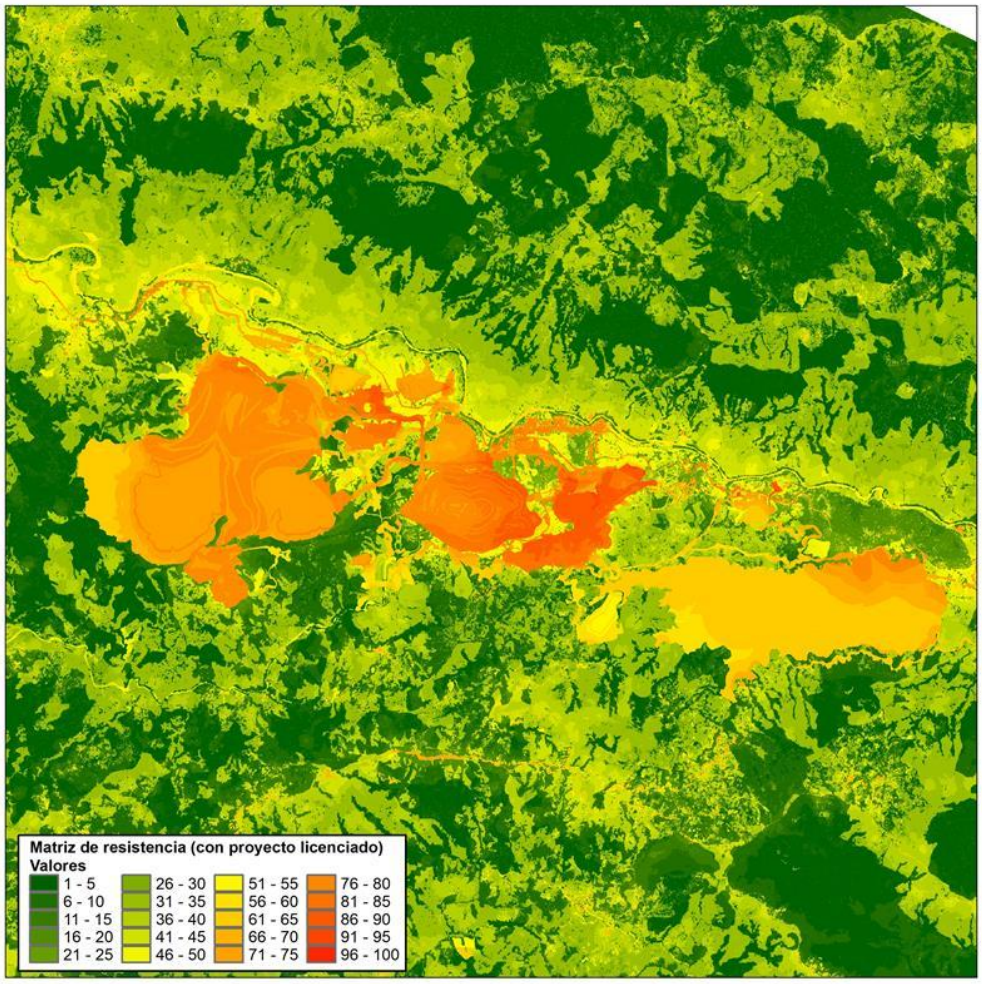


Figura 2.58 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto licenciado 1CPL

Fuente: Integral S.A., 2025

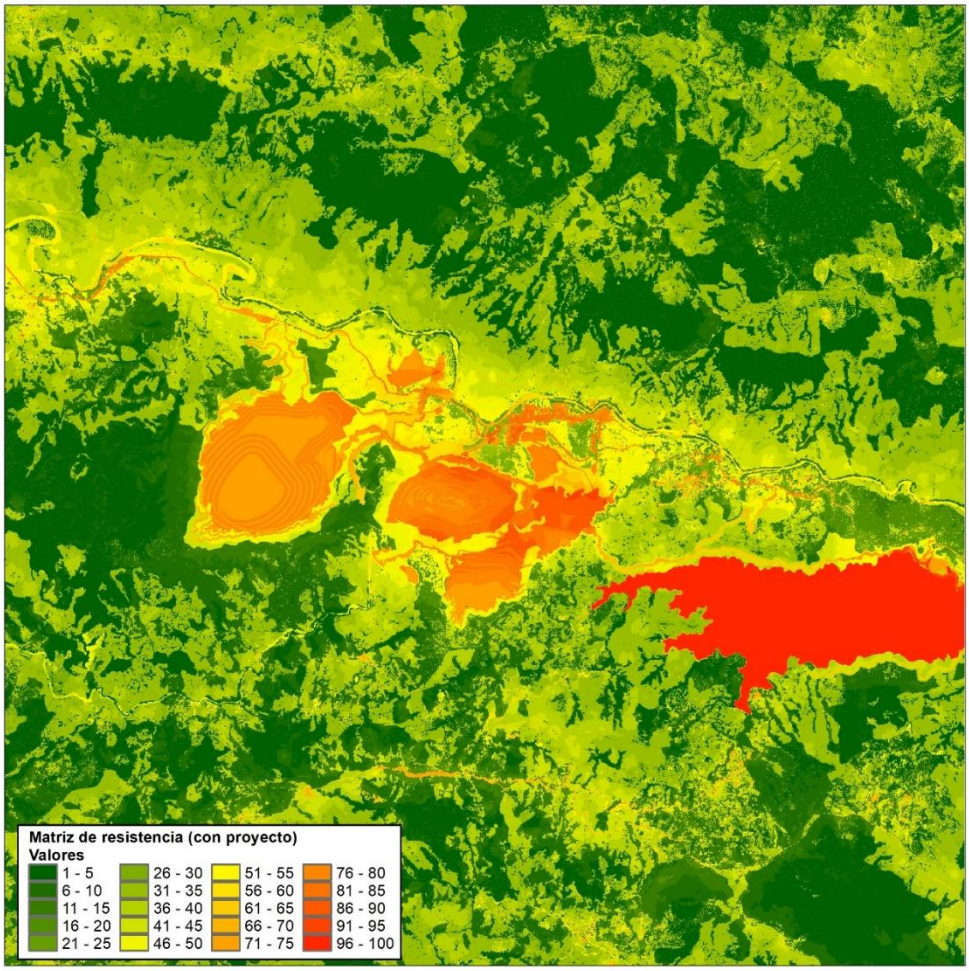


Figura 2.59 Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto para la modificación de licencia 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

F. Nodos focales para la modelación

En el modelo de matriz de parches, presentado por Forman y Godron en 1981 (Forman R. T., 1981) la estructura del paisaje se reduce a tres elementos principales: matriz, parche y corredor (Forman R. T., 1981). La Matriz es el elemento más extenso y conectado del paisaje, el "tejido de fondo" que controla los procesos a gran escala, como la dinámica del paisaje, los parches son áreas relativamente homogéneas que contrastan con su entorno (la matriz) y son importantes para hábitats específicos y los corredores son franjas lineales de un tipo de hábitat diferente que conectan parches, facilitando el movimiento de organismos y el flujo de energía o nutrientes entre ellos (Forman R. T., 1981).

Los parches representan áreas homogéneas de cierto tipo de cobertura o uso del suelo, con características propias, como forma o tamaño y funciones ecológicas, como el aislamiento de poblaciones. La disposición espacial de parches de diversos tipos de cobertura en el paisaje da como resultado una estructura paisajística característica también denominada mosaico de parches (Lausch, 2015). La matriz, que es el tipo de uso/cobertura terrestre de fondo dominante en un paisaje, por lo tanto, los parches se consideran como “hábitat” y es, en esencia, un concepto específico de la especie ((Lausch, 2015).

Estos parches de hábitat también se les conocen como “nodos” y se definen como aquellas vegetaciones con funciones y características ecosistémicas importantes que permiten el establecimiento y la reproducción de la fauna silvestre (Forman R. T, 1995a) (Forman R.T.T., 1995b). Estas son las únicas estructuras en un paisaje que sustentan poblaciones viables de la mayoría de las especies del interior, proporcionan hábitat esencial y cobertura de escape para la mayoría de los vertebrados de amplia distribución, y permiten regímenes de perturbación casi naturales. Estructuralmente los nodos presentan un área core o área núcleo que se considera vital para el mantenimiento de las especies de fauna y flora especialistas, cuyos nichos ecológicos tienen menor amplitud que los de las especies generalistas (Forman R.T.T., 1995b).

En una matriz heterogénea, donde los parches o nodos se encuentran aislados entre sí por efecto de la fragmentación, los parches toman tamaños y formas que pueden exponer a los organismos que permanecen en un fragmento asilado a las condiciones de la matriz circundante y, en consecuencia, se le denomina efecto de borde que es el resultado de la interacción entre dos ecosistemas adyacentes, cuando ambos están separados por una transición abrupta (borde). Los bordes pueden afectar a los organismos de un parche al provocar cambios en las condiciones bióticas y abióticas (Murcia C., 1995).

Lo anterior, determina la importancia de la elección de estos elementos para la modelación de la conectividad, es por ello por lo que los parches de coberturas de la tierra como bosque y vegetación secundaria se eligen nodos focales para la modelación. Para definir el área core de cada parche se requiere evaluar un borde ya que cada parche aislado presenta este efecto borde. Para cada escenario, el efecto borde tendrá una distancia determinada al interior del fragmento a partir del cual los efectos del borde se reducen.

- Insumos cartográficos para la elaboración de los nodos focales

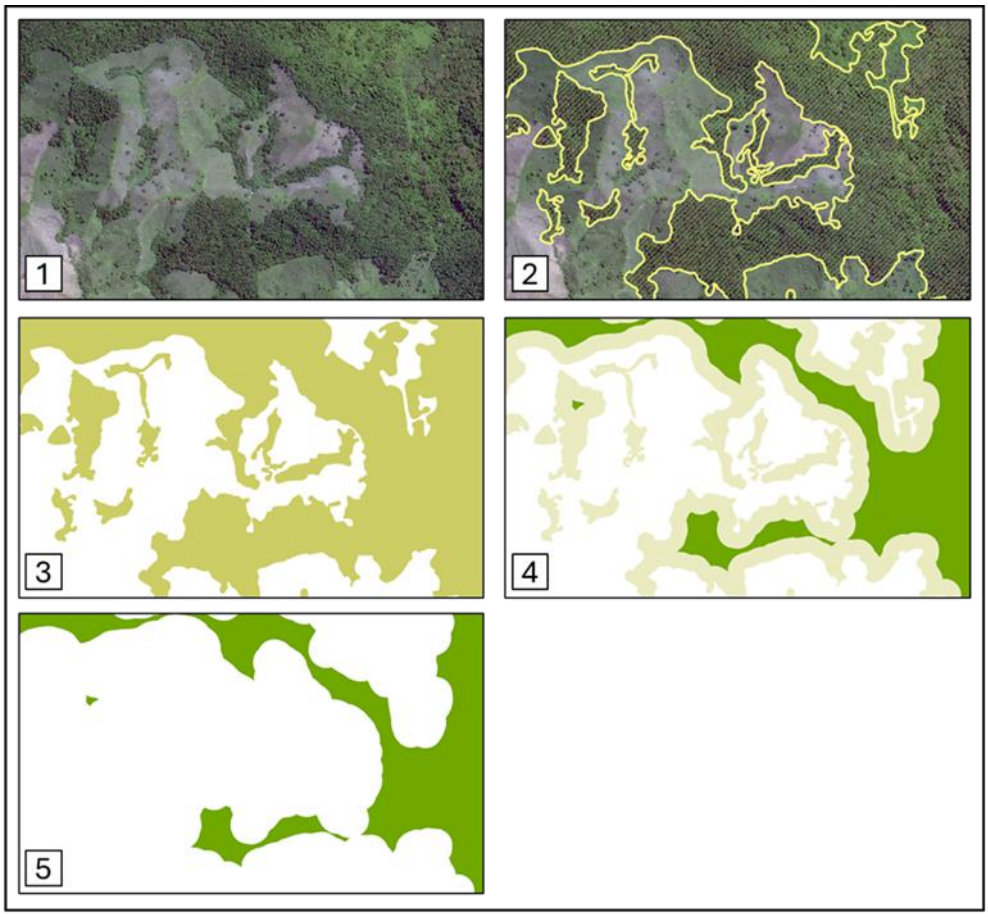
Para este análisis se definieron como “nodos” los elementos del paisaje que pueden ofrecer condiciones óptimas para el movimiento y el establecimiento de las especies objeto de estudio, que para esta modelación serán las coberturas de bosques, plantaciones, vegetaciones secundarias y los bosques de galería y/o ripario asociados al Río Nus, Quebrada Guacas y Quebrada la Palestina, con el fin de conocer su funcionalidad dentro del área intervenida. Estos elementos se obtienen a partir de los insumos cartográficos imagen satélite, imagen Sentinel 2A y coberturas de la tierra del componente flora.

Las coberturas del componente flora fueron obtenidas a partir de la fotointerpretación de la ortofoto del proyecto. La verificación de estas coberturas se llevó a cabo durante la fase de muestreo y caracterización de la flora. Para la clasificación, se aplicó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, según lo establecido por el IDEAM (2010).

Para el análisis a escala regional, los nodos se obtuvieron a partir de la clasificación supervisada de la imagen de Sentinel 2A, es decir a partir de la homologación de las coberturas de la tierra, según los valores del NDVI o directamente digitalizadas sobre la imagen de satélite.

Finalmente, a los nodos, determinados a partir de la agregación de bosques, plantaciones y vegetación secundaria, se les determinó el área core teniendo en cuenta un efecto borde estandarizado de 50 m a partir del cual los efectos del borde se reducen (Matlack, G.R., 1993) (Peña-Becerril, 2005). Es importante aclarar, que a los bosques de galería y/o ripario asociados al Río Nus, Quebrada Guacas y Quebrada la Palestina, no se les realiza dicho efecto de borde. Esta excepción se hace para para mantener estos elementos en la red topológica de conectividad dada su importancia como corredores naturales en el territorio.

En la Figura 2.60 se muestra el esquema de la elección de nodos y la aplicación del efecto borde y en las Figura 2.61 y Figura 2.62 se muestran los nodos y las coberturas naturales y seminaturales para las especies E1 y E2.



1) Ortofoto.
2), 3)Coberturas de hábitat.
4) Aplicación del buffer interno para modelar el efecto borde.
5) Nodos de hábitat para modelación.

Figura 2.60 Nodos focales para la modelación regional y local

Fuente: Integral S.A., 2025

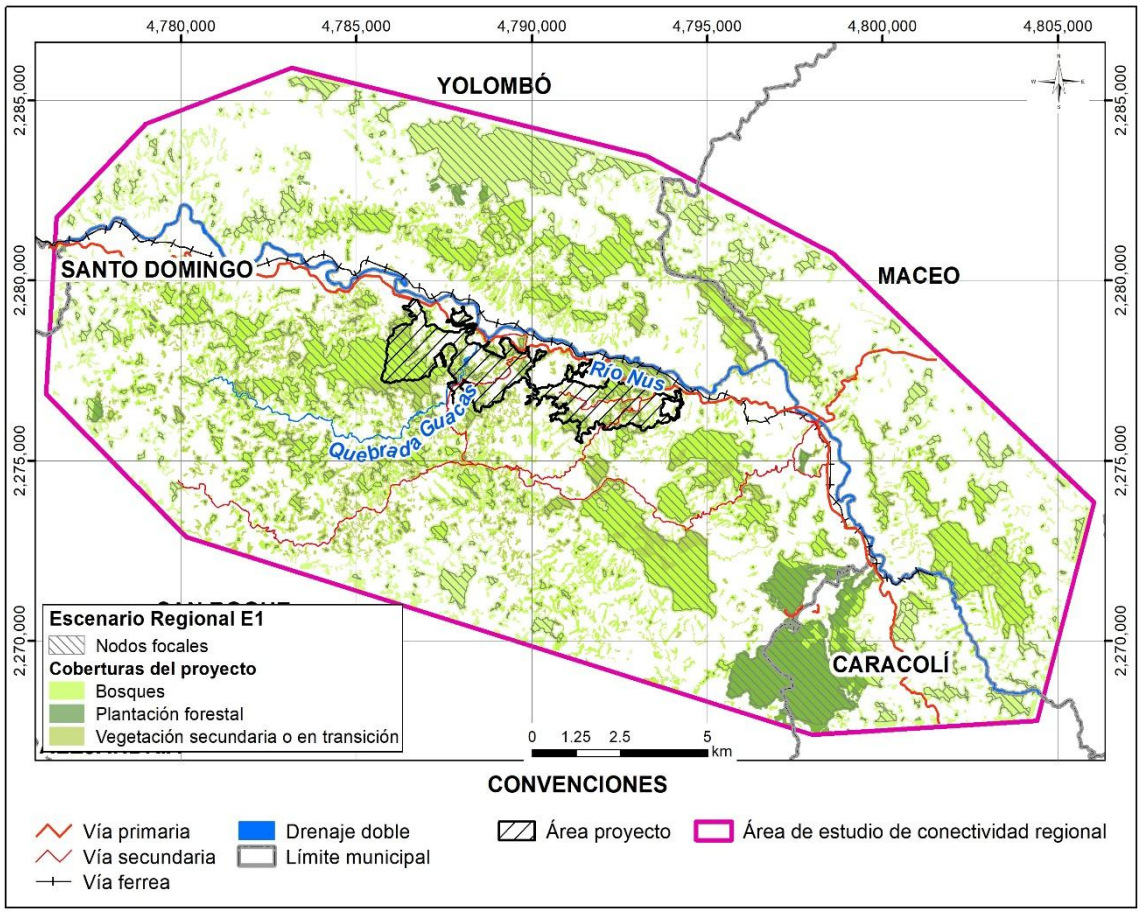


Figura 2.61 Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional

Fuente: Integral S.A., 2025

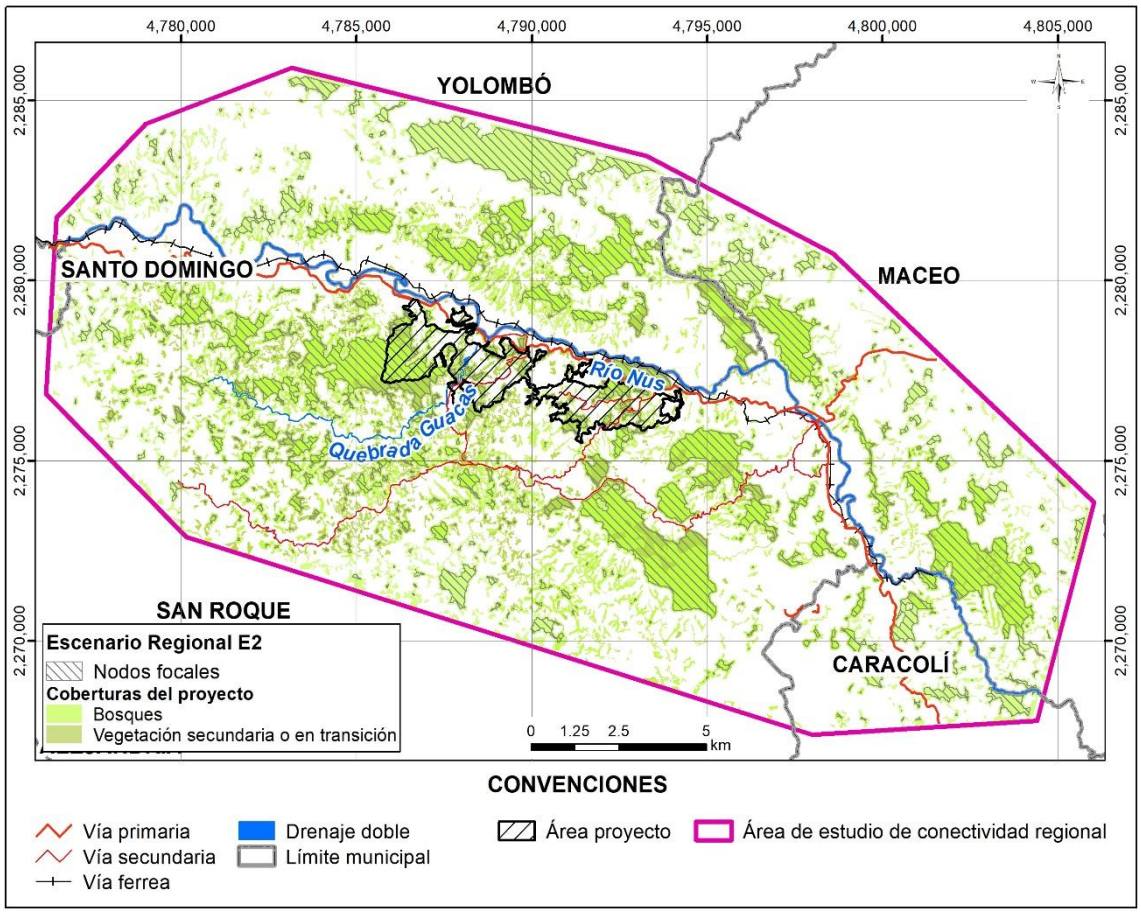


Figura 2.62. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional

Fuente: Integral S.A., 2025

G. Modelación de la conectividad funcional

A continuación, se describen los software e índices utilizados para la modelación de la conectividad.

a. Herramientas para la modelación de la conectividad funcional

- **Software Graphab 3.0**

El software Graphab 3.0 fue utilizado para estimar la conectividad del territorio por medio del cálculo de diferentes índices o métricas que describen las características de conectividad. Es fácilmente compatible con los sistemas de información geográfica SIG (Foltête JC, 2012) (Foltête J.-C., 2021).

El software Graphab y su conjunto de funciones sirve para construir grafos de paisaje y calcular métricas de conectividad. Un grafo es un conjunto de nodos (o vértices) y enlaces (o aristas) de modo que cada enlace conecta dos nodos; puede utilizarse para describir cuantitativamente un paisaje como un conjunto de parches (Jordán, 2003). Para el Graphab los datos de entrada son un mapa de cobertura terrestre proporcionado por los usuarios como una capa ráster categorizada. Los nodos del grafo se definen a partir de las clases de cobertura terrestre correspondientes al hábitat óptimo de la especie en estudio. A partir de este conjunto de nodos, los usuarios pueden generar varios conjuntos de enlaces, controlando su topología (completa o planar) y el tipo de distancia espacial (euclidiana o de

menor costo). En el caso de las distancias de menor costo, se asigna un valor de costo a cada clase de cobertura terrestre o, alternativamente, se carga un mapa ráster de costos externo. A partir del conjunto de nodos y un conjunto dado de enlaces, los usuarios definen un grafo que controla su topología eligiendo (o no) un umbral de distancia más allá del cual se eliminan los enlaces, creando así varios componentes (o subgrafos). Todos estos elementos se pueden representar fácilmente con una vista realista o (Foltête J.-C., 2021).

- **Sofware Linkage Mapper**

El sofware Linkage Mapper (McRae B. H., 2014), se utilizó para determinar los corredores de costo y las zonas críticas (cuellos de botella).

La identificación de los corredores de menor costo en la red de conectividad se realizó mediante la herramienta Linkage Mapper, la cual permite analizar y representar espacialmente las rutas potenciales de desplazamiento de las especies entre áreas núcleo de hábitat, a partir de superficies de resistencia al movimiento.

Para este análisis se emplearon como insumos los mapas SIG de áreas núcleo (área core) y las matrices de resistencia, elaboradas de manera diferenciada para cada especie evaluada. En dichas matrices, a cada celda del territorio se le atribuye con un valor que refleja el "costo" energético (es decir, dificultad y riesgo de mortalidad) de moverse a través de esa celda. Los valores de resistencia generalmente se determinan por características de la celda, como la cobertura del suelo o la densidad de viviendas, combinadas con modelos de resistencia del paisaje específicos de la especie. A medida que los animales se alejan de áreas core específicas, los análisis de distancia ponderada por costo producen mapas de la resistencia total al movimiento acumulada (McRae BH, 2011).

Linkage Mapper, calcula superficies de distancia acumulada ponderada por costo, las cuales representan la resistencia total que un individuo encontraría al desplazarse desde un área núcleo a través del paisaje. A partir de estas superficies, la herramienta identifica los enlaces de menor costo acumulado entre parches de áreas núcleo, los cuales corresponden a corredores teóricos que minimizan el costo total de desplazamiento y, por tanto, representan las rutas más favorables para la conectividad funcional del paisaje.

Las zonas críticas para la conectividad del paisaje se identificaron mediante la herramienta Pinchpoint Mapper, la cual permite localizar y representar espacialmente los puntos de estrangulamiento o cuellos de botella dentro de los enlaces de conectividad modelados. Esta herramienta se basa en el análisis de flujo de corriente derivado de superficies de resistencia, lo que permite identificar y mapear los puntos de estrangulamiento (cuellos de botella) dentro de los enlaces. Los puntos de cuellos de botella representan áreas donde el movimiento se canalizaría y, por lo tanto, puede ser particularmente importante su mantenimiento. El mapa Pinchpoint identifica regiones donde la pérdida de una pequeña área podría comprometer seriamente la conectividad del paisaje (McRae BH. , 2012).

b. Índices

Los índices utilizados en este estudio para estimar la estimación de la conectividad se describen a continuación.

I. Probabilidad de Conectividad (PC):

El índice de probabilidad de conectividad (PC) es un indicador global de conectividad funcional basado en el concepto de disponibilidad de hábitat y en un modelo probabilístico de conexiones entre parches.

$$PC = \frac{1}{A^2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_i a_j e^{-\alpha dij}$$

Ecuación 2.93 Formula de Probabilidad de Conectividad (PC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

n = número total de parches.

ai, aj = área (o atributo ponderado de hábitat, como calidad, capacidad de carga, idoneidad) de los parches i y j.

$pij*$ = probabilidad máxima de conexión entre los parches i y j, considerando el mejor camino posible (producto de probabilidades de cada paso).

AL = área total del paisaje (hábitat + matriz).

Propiedades principales (Saura & Pascual-Hortal 2007; manual Graphab):

- Está normalizado entre 0 y 1.
- Integra simultáneamente cantidad de hábitat y conectividad funcional en una sola métrica.
- Usa un modelo probabilístico de dispersión (no binario), lo que permite representar mejor la factibilidad de movimiento entre parches en función de la distancia o del costo del desplazamiento.
  - Cumple sistemáticamente con todas las propiedades deseables para un índice de conectividad aplicado a la planificación del paisaje (sensibilidad a la fragmentación, detección de parches clave, respuesta consistente a pérdida de hábitat, etc.).

II. Delta de Probabilidad de Conectividad (dPC):

El dPC es la versión nodal del índice PC. Mide la importancia relativa de cada parche en la conectividad total del paisaje.

$$dPC_k = \frac{PC - PC_{remove\,(k)}}{PC} = 100 \times \frac{\Delta PC_K}{PC}$$

Ecuación 2.94 Fórmula del delta de probabilidad de conectividad

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

PC = valor global de conectividad del paisaje con todos los parches.

PCremove(k) = valor del índice global recalculado al eliminar el parche k.

Propiedades principales:

- Cuantifica el porcentaje de conectividad global que se pierde si desaparece un parche.
- Valores altos: parches críticos para la conectividad (stepping stones, corredores clave).
- Valores bajos: parches con contribución marginal.
- La suma de dPC puede superar el 100%, ya que múltiples parches pueden ser simultáneamente críticos en diferentes caminos de la red.

III. Fracciones de delta Probabilidad de conectividad (dPCi, dPCi,area, dPCi,flux, dPCconnector)

Los valores de dPCk se pueden dividir en tres fracciones distintas, considerando las diferentes maneras en que un determinado elemento del paisaje k (parche o enlace) puede contribuir a la conectividad y disponibilidad del hábitat en el paisaje:

$$dPC_i = \frac{PC - PC_i^{'}}{PC} = dPC_{i,area} + dPC_{i,flux} + dPC_{i,connector}$$

Ecuación 2.95 Fórmula fracciones del delta de probabilidad de conectividad

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

dPCi es la tasa de variación entre el valor del índice PC y el valor de PC' correspondiente a la eliminación del parche i.

- **dPCintra**

Es la fracción del índice que mide la contribución del parche k en términos de conectividad intraparche (área disponible dentro del propio parche) (Saura S., 2010).

Propiedades principales (Saura S., 2010):

  - Representa el aporte del parche por su propia superficie (o atributo), independientemente de su conexión con otros parches.
  - No depende de la distancia de dispersión ni de la posición en la red.
  - Es constante incluso si el parche está completamente aislado.
  - Equivale a métricas basadas en área ponderada (p. ej., tamaño medio ponderado de parche).

- **dPCi,flux**

Es la fracción que cuantifica el flujo de dispersión ponderado por área entre el parche k y todos los demás parches (cuando k es origen o destino) (Saura S., 2010).

Propiedades principales (Saura S., 2010):

  - Depende tanto del tamaño del parche como de su grado de conexión con otros parches.
  - Aumenta con la capacidad de dispersión de la especie y con la posición estratégica del parche en la red.
  - No considera el papel del parche como intermediario, solo como origen o destino del flujo.
  - Similar a índices de flujo dispersivo, pero incorpora probabilidades máximas de conexión.

- **dPCconnector(k)**

Es la fracción que mide la contribución del parche o enlace k como elemento conector o “stepping stone” entre otros parches (Saura S., 2010).

Propiedades principales (Saura S., 2010):

- Depende exclusivamente de la posición topológica en la red, no del tamaño ni calidad del parche.
- Captura el papel crítico de parches y enlaces en rutas óptimas de dispersión.
- Valores altos: elementos que, al desaparecer, rompen rutas clave entre parches importantes.
- Es la única fracción aplicable también a enlaces (corredores sin hábitat).

IV. Índice Integral de Conectividad (IIC)

El IIC (Integral Index of Connectivity en inglés) es un índice global de conectividad estructural que combina en una sola medida la cantidad de hábitat disponible (área de los parches) y la conectividad entre dichos parches en la red ecológica.

$$IIC = \frac{1}{A^2}\sum_{i\_1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_i\, a_j}{1 + nl_{ij}}$$

Ecuación 2.96. Índice Integral de Conectividad (IIC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

n = número de parches del paisaje.

ai, aj = áreas (o capacidades) de los parches i y j

$nlij$ = longitud del camino topológico más corto (número mínimo de enlaces) entre i y j.

AL = área total del paisaje (suma de las áreas de todos los parches).

Características principales:

- Está normalizado entre 0 y 1.
- Refleja la probabilidad de que dos puntos tomados al azar en el paisaje estén en parches funcionalmente conectados.
- Aporta una interpretación robusta bajo el concepto de hábitat disponible: incluso un parche aislado contribuye al índice mediante su propia área.
- Fue identificado por (Pascual H. L., 2006) como el único índice “ideal” entre los evaluados, por reaccionar de manera consistente a la pérdida de hábitat o de enlaces y por discriminar adecuadamente la importancia relativa de distintos cambios en el paisaje.

V. Índice Delta del Índice Integral de Conectividad (dIIC)

El dIIC (delta IIC) es un índice de importancia nodal, que cuantifica la contribución individual de cada parche a la conectividad global del paisaje.

$$dIIC = IIC - \frac{IIC_{remove(k)}}{IIC}$$

Ecuación 2.97. Delta del índice Integral de Conectividad (IIC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

dIICk = delta de Conectividad Integral del elemento

IIC = índice global (IIC) calculado con todos los parches.

IICremove(k)= índice global recalculado tras eliminar el parche k y sus conexiones.

Características principales:

- Indica la proporción de conectividad global que se pierde al eliminar un nodo.
- Valores altos señalan parches estratégicos cuya conservación es crítica para la red.
- Es útil para jerarquizar e identificar los parches según su aporte a la conectividad estructural.

VI. Correlación de conectividad

Relación entre el grado del nodo i y el grado de sus parches vecinos j. Si |Ni| es igual a 0 entonces CCori es igual a 0.

$$CCor_i = \frac{|N_i|^2}{\sum_{j \epsilon Nt} |N_j|}$$

Ecuación 2.98. Formula de la correlación de la conectividad

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde*:*

Ni: grado del nodo.

Nj: grado de parches vecinos.

Si |Ni| es igual a 0 entonces CCori es igual a 0.

Propiedades principales:

- Indica el patrón de asociación entre parches altamente conectados y sus vecinos.
- Valores altos: parches con muchos enlaces tienden a estar rodeados por parches también bien conectados (agrupamiento de hubs).
- pocos enlaces (patrón compartimentado).
- Alta compartimentación (valores negativos) puede ralentizar el movimiento a través de la red y aislar efectos de perturbaciones, aumentando la robustez frente a la propagación de enfermedades o invasiones.
- Valores positivos implican agrupación de hubs, lo que favorece la dispersión, pero puede facilitar la propagación rápida de disturbios.

VII. Conectividad Equivalente (EC)

Raíz cuadrada de la suma de los productos de capacidad de todos los pares de parches ponderados por su probabilidad de interacción (Saura S., 2010).

$$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_i a_j e^{-\alpha dij}}$$

Ecuación 2.99. Índice Conectividad Equivalente (EC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado por Integral S.A., 2025

Donde:

ECA (o EC) área conectada equivalente, definida como el tamaño de un único parche máximamente conectado que proporcionaría la misma probabilidad de conectividad que el patrón real de hábitat en el paisaje.

Propiedades principales (Saura S., 2010):

- Deriva del índice PC, pero expresado en unidades de área, lo que facilita su interpretación y comparación con cambios en la superficie de hábitat.
- Integra conectividad intraparche (dentro de cada parche) e interparche (entre parches), considerando tanto el área como la probabilidad de conexión entre ellos.
- Valores altos: paisajes con alta conectividad funcional, equivalentes a grandes parches continuos o redes muy bien conectadas.
- Valores bajos: paisajes fragmentados con baja conectividad funcional.
- Permite evaluar la eficiencia de los cambios espaciales: si nuevas áreas actúan como corredores o stepping stones, el incremento en ECA será mayor que el incremento en área (dECA > dA).
- Puede calcularse para atributos distintos al área (p. ej., calidad de hábitat, tamaño poblacional), denominándose en general EC (Equivalent Connectivity).
- Cuando todo el hábitat está en un solo parche o existe conectividad máxima (p*ij = 1), ECA coincide con el área total de hábitat.

c. Relación entre distancia y costo para las modelaciones

Para las modelaciones locales para los tres escenarios analíticos se utilizaron los valores de movilidad de referencia (en metros) como el desplazamiento de cada especie para el truncado de los enlaces (distancia euclidiana), lo cual permitirá obtener resultados consecuentes con la ecología de las especies, específicamente con sus patrones de movilidad.

En complemento al truncamiento de enlaces por distancia euclidiana, las herramientas modernas para la estimación de la conectividad (como Graphap 3.0) permiten además realizar el truncamiento en costo. Truncar en función del costo permite incluir el efecto de la matriz de resistencia en definición de las rutas de mínimo costo.

Para determinar el valor de truncamiento de los enlaces en unidades de costo se utiliza la herramienta de conversión de Graphab para tal efecto. Esta herramienta realiza una estadística con base a la relación de distancia euclidiana y distancia en costo de todos los enlaces en una determinada área de estudio que, para este caso, consistió en una modelación de puntos origen-destino a lo largo del área de estudio de conectividad local en el escenario sin proyecto (ver Figura 2.63).

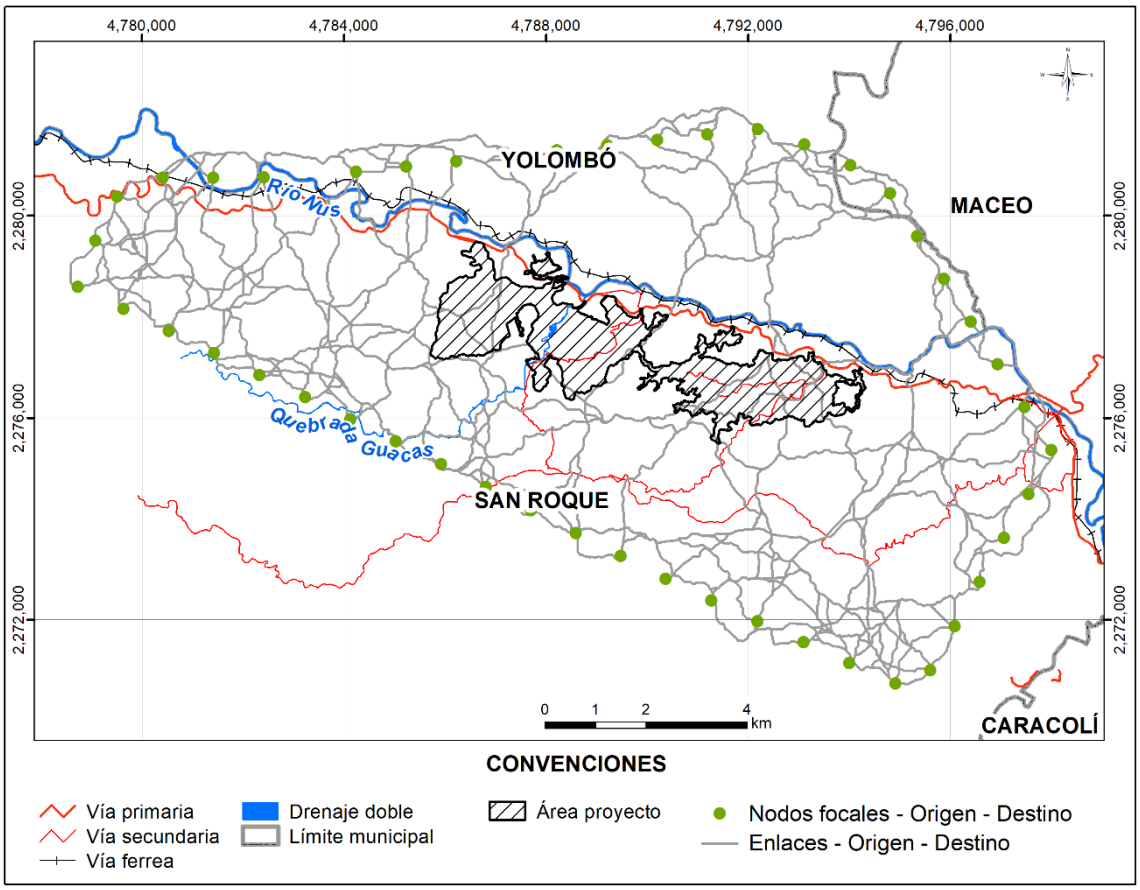


Figura 2.63. Red de conectividad realista para el análisis origen destino de conversión de unidades

Fuente: Integral S.A., 2026

Los datos de desplazamiento de las especies para el truncamiento se tomaron a partir de información ecológica disponible para las especies, registrando para el tigrillo E1 *L. pardalis* un rango de desplazamiento diario entre 1,8 a 7,6 kilómetros (Sunquist M.E.,Sunquist F., 2002) y para el tití E2 *O. leucopus* un rango de desplazamiento diario entre 783-2387 metros (Poveda K. & Sánchez P., 2004). Como los valores están en un rango para el truncado se elige el menor valor del rango de desplazamiento y se trunca con un valor de 1,5 (ver la Tabla 2.132).

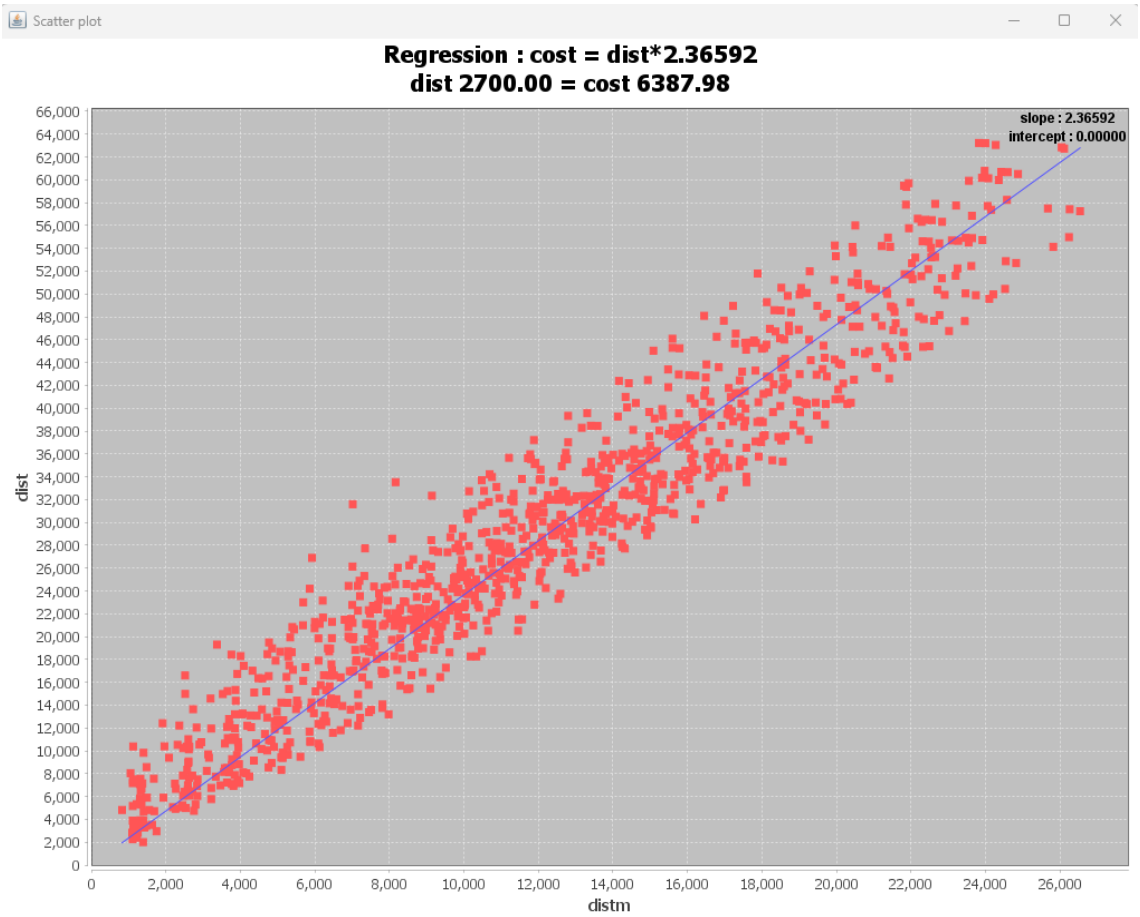
Tabla 2.132. Datos de desplazamiento diario disponibles para la especie E1 y E2

Nombre científico	Nombre común	Datos de Movimiento (desplazamiento)	Desplazamiento en metros (m)	Desplazamiento (m) * factor de truncado 1,5
Leopardus pardalis	Tigrillo u ocelote	1,8-7,6 km diarios	1800	2700,00
Oedipomidas leucopus	Titi gris o tamarín	783-2387 m diarios	783	1174,50

Fuente: Integral S.A., 2025

En las Tabla 2.133 y Tabla 2.134 se presentan los resultados de la herramienta de conversión para cada una de las especies:

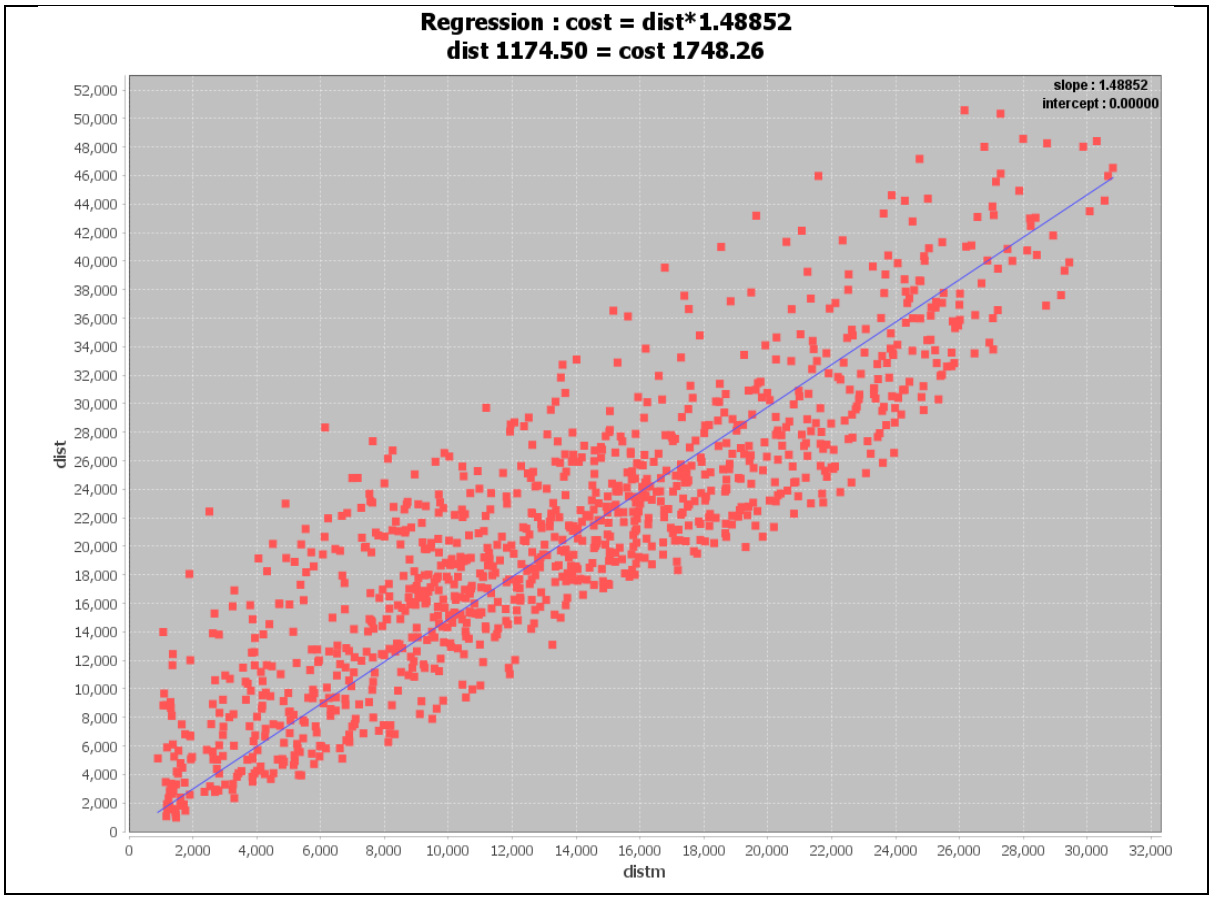
Tabla 2.133. Cálculos de corredores de costo para la E1) *Leopardus pardalis*

Especie (E1) *Leopardus pardalis*
Desplazamiento (m):1800 m
Distancia euclidiana de truncamiento (1,5 * Desplazamiento): 2700,00
Factor de conversión para truncar: 2,36592
Distancia para corredores (costo): 6387,98
Función de conversión entre unidades: 

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 2.134. Cálculos de corredores de costo para la E2 Oedipomidas leucopus

Especie (E2) *Oedipomidas leucopus*
Desplazamiento (m): 783 m
Distancia euclidiana de truncamiento (1,5 * Desplazamiento):1174,50
Factor de conversión para truncar: 1,48852
Distancia para corredores (costo): 1748,26
Función de conversión entre unidades:



Fuente: Integral S.A., 2026

2.3.4.1.7 Fauna

A. Fase Previa

Con el fin de dar atención a los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera TdR se revisó la información existente sobre la fauna potencialmente presente en el área de influencia del proyecto.

De esta forma, se hizo la revisión de bases de datos científicas, y publicaciones disponibles sobre inventarios, compilando la información de la fauna potencialmente presente dentro del área de influencia del proyecto para cada uno de los grupos faunísticos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos), haciendo énfasis en las unidades territoriales donde tendrá lugar el proyecto (San Roque) Para ello se tuvo en cuenta la distribución geográfica de las especies, distribución altitudinal (<1000 msnm) ecología de las especies (gremios tróficos) categorías de amenaza y migración. Las fuentes de búsqueda de información secundaria fueron:

Plataformas de datos de biodiversidad:

- Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB-Colombia, 2025)
- Global Core Biodata Resource (GBIF, 2025)
- Tremarctos 3.0 (Conservación Internacional Colombia, 2015)

Para enriquecer y actualizar la información proveniente de las plataformas de datos de biodiversidad se emplearon otras fuentes con información de biodiversidad como:

- Resolución 0126 de 2024 (MADS, 2024)

- Plan nacional de especies migratorias (Naranjo & Amaya Espinel, 2009)
- Libro rojo de aves de Colombia (Renjifo, y otros, 2014)
- Libro rojo de los anfibios de Colombia (Rueda-Almonacid, Lynch, & Amézquita, 2004)
- Libro rojo de reptiles de Colombia (Morales-Betancourt, Lasso, Páez, & Bock., 2015)
- Libro rojo de los mamíferos de Colombia (Rodríguez-Mahecha, Landazabal-Mendoza, & Nash, 2006)
- Apéndices vigentes del 25 de mayo de 2024 de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 2025)
- Guía de especies migratorias (Naranjo, Amaya, Eusse-González, & Cifuentes-Sarmiento, 2012)
- Listado de especies endémicas y casi endémicas de Colombia (Chaparro-Herrera, Lozano, & Echeverry-Galvis, 2024)
- Guía de Campo de las Aves de Colombia (McMullan, 2023)
- ebird (eBird, 2025)
- Neotropical Rainforest Mammals (Emmons & Feer, 1997)
- Mammals of the Neotropics (Eisenberg, 1989)
- Amphibian Species of the World (Frost, 2025)
- Reptile Database (Uetz, y otros, 2025)

Para el análisis de información, se tuvieron en cuenta además los estudios previos realizados para el proyecto minero, tales como:

- Estudio de Impacto Ambiental - Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015
- Modificación de Licencia Ambiental - Resolución 0782 de 2019

B. Fase Muestreo

Para la caracterización de fauna silvestre se planteó un diseño muestral que garantiza que la recolección de información sea representativa del área de estudio para cada unidad de cobertura vegetal Bosque denso alto (3111), bosque fragmentado con vegetación secundaria (3132), bosque de galería y/o ripario (314), cultivos permanentes herbáceos de caña (2212), Guadua (3141), mosaico de cultivos (241), pastos arbolados (232), pastos enmalezados (233), pastos limpios (231),Tejido urbano continuo (111), Tejido urbano discontinuo (112), vegetación secundaria alta (3231) y vegetación secundaria baja (3232), Zonas industriales y comerciales (12); Zonas de extracción minera (13), Zonas verdes artificializadas, no agrícolas (14); Aguas continentales (51)., a partir de la implementación de metodologías reconocidas y estandarizadas científicamente.

Para los muestreos de fauna se emplearon las metodologías requeridas para el inventarios de especies y obtener así, información representativa como los planteados en el Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad (Villarreal, 2006), la MGEPEA (ANLA, 2018) y aspectos metodológicos aprobados en el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales RE-01318-2024 del 24 de abril de 2024 por la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare - CORNARE (ANEXOS_GENERALIDADES_PRE).

Las técnicas de muestreo empleadas para cada grupo de fauna se realizaron a partir de registros directos (que requieren captura temporal o definitiva de las especies faunísticas) y con registros indirectos (se basa en la observación que no requieren ningún tipo de manipulación). A continuación, se describen las técnicas de muestreo que se emplearon para la observación, captura temporal y recolección de especímenes y muestras para cada uno de los grupos taxonómicos de la fauna silvestre.

Estas actividades se desarrollaron entre el 31 de enero y el 28 de febrero de 2025, en cumplimiento del permiso de colecta N.º RE 01318-2024 otorgado por la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), en nueve (9) coberturas vegetales que hacen parte del área de influencia del componente fauna: bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y/o ripario, cultivos permanentes herbáceos de caña, mosaico de cultivos, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, vegetación secundaria alta y vegetación secundaria baja. Adicionalmente, para la atención de los requerimientos de información adicional, se realizó el complemento de la caracterización de fauna entre en 6 y el 27 de julio de 2026, donde se incluyeron coberturas como Guadua, Tejidos urbanos, Bosque denso alto, Zonas industriales y comerciales, Zonas de extracción minera, Zonas verdes artificializadas, no agrícolas y aguas continentales (ríos, lagos lagunas y ciénagas naturales), implementando metodologías de muestreo y los protocolos de recolección de especímenes de fauna desarrolladas y amparados bajo el permiso de estudio para recolección de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales Resolución 1715 del 13 de agosto de 2024 emitido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA (Véase la Tabla 2.135) (ANEXOS_GENERALIDADES_PRE).

Tabla 2.135 coberturas vegetales caracterizadas para el componente de fauna

Cobertura vegetal	Código Corine Land Cover	Abreviatura
Bosque de galería y/o ripario	314	Bgr
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	Bfvs
Bosque denso alto	3111	Bda
Cultivos permanentes herbáceos - Caña	2212	Cañ
Mosaico de cultivos	241	Mc
Pastos	23	P
Guadua	3141	Guad
Tejidos urbanos	11	Tu
Vegetación secundaria alta	3231	Vsa
Vegetación secundaria baja	3232	Vsb
Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2	Zic
Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3	Zem
Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4	Zva
Aguas continentales	5.1	Ac

Fuente: Integral S.A, 2026.

Es importante mencionar que, durante las actividades de campo se realizaron acercamientos con la comunidad y los auxiliares de campo, propios de la región, que acompañaron al equipo de fauna durante los muestreos, con el fin de conocer desde el punto de vista de los pobladores de la región, cual es la fauna silvestre que conocen y posibles conflictos que se pudieran presentar con esta. La dinámica de dichos acercamientos consistió en que a las personas se le hicieron preguntas sobre la fauna que observa en su vereda y en los alrededores, adicionalmente, se le mostraron algunas imágenes de fauna que tal vez pudiera estar en la zona o que alguna vez vio en la zona. Se hizo uso de catálogos de diversidad como material de apoyo para una identificación más puntual de la fauna. Es importante aclarar que, la información obtenida de las entrevistas no se procesó dentro de la caracterización del

área de influencia, pero se toma de referencia para la identificación de la fauna y el desarrollo de la evaluación ambiental de impactos.

a. Avifauna

Para el registro de aves, se aplicaron las siguientes técnicas de muestreo:

I. Métodos indirectos

i. Puntos de conteo

Los conteos por puntos son el principal método de muestreo de aves terrestres debido a su eficacia en todo tipo de terrenos y hábitats, y a la utilidad de los datos obtenidos. El método permite estudiar los cambios anuales en las poblaciones de aves en puntos fijos, las diferentes composiciones específicas según el tipo de hábitat, y los patrones de abundancia de cada especie. En los censos por puntos, el observador permanece en un punto fijo y toma nota de todas las aves vistas y oídas en un área limitada o ilimitada durante un periodo de tiempo determinado. Los puntos de conteo se implementaron en sitios con topografía irregular y paisajes con hábitats reducidos como bosques, áreas abiertas, senderos, trochas (Ralph, 1996).

El observador debe acceder al punto de conteo causando el mínimo de perturbación a las aves y debe comenzar a contar tan pronto como llegue al punto. El periodo de censado debe ser 10 min por punto. Debe tomarse nota del número del punto, la fecha y la hora del día. Las especies deben anotarse en el orden en que son detectadas. Para cada especie se anotan separadamente los individuos detectados dentro y fuera del radio fijo. Se sugiere establecer una distancia mínima de 50 a 100 m entre los puntos y el radio de observación para evitar el reconteo de individuos (Ralph, 1996).

Para esta técnica se emplearon los muestreos en las horas de mayor actividad de las aves, es decir, en las primeras horas de la mañana (entre las 5: 00 y de 6:00 am hasta más o menos las 10:30 am) y hacia el final de la tarde (desde las 16:00 y continuar hasta que comience a oscurecer entre las 17:30 a 18:30) (Villarreal H. Á., 2006).

Se efectuaron 36 puntos de conteo de aves, distribuidos en las nueve coberturas que componen el área de influencia de fauna, tomando un radio fijo de 25 metros durante 10 minutos en cada punto de muestreo.

II. Métodos de captura

ii. Captura con redes de niebla

Las redes de captura (también conocidas como redes de niebla o redes japonesas) han sido utilizadas para la recolección de aves durante años y recientemente se han convertido en efectivas herramientas para el monitoreo de poblaciones (Ralph, 1996). Las redes de niebla deben ser ubicadas en lugares de paso de individuos (en cercanías a cuerpos de agua, vegetación densa y abierta), cubriendo diferentes hábitats dentro de cada cobertura y transiciones entre los mismos (Ralph, 1996).

Las redes de niebla se abren temprano en la mañana hasta que disminuya la actividad y se vuelven a abrir en la tarde (Villarreal H. Á., 2006). Cuando se presentaron lluvias se cerraron las redes para evitar que las aves atrapadas se mojen y se vean afectadas por el frio. Las redes fueron revisadas cada 20 minutos bajo condiciones normales del clima y con más frecuencia en situaciones de altas temperaturas, con el fin de evitar la mortalidad de individuos (Villarreal H. Á., 2006).

A los individuos capturados se les extrajo de las redes de forma cuidadosa y se toma registro fotográfico, y algunos datos como: sexo (si es posible), estado reproductivo (parche de cría, protuberancia cloacal) y la edad a partir del plumaje (juvenil, adulto). Una vez tomados estos datos los individuos capturados son liberados de inmediato en la misma área de captura.

La aplicación de este método estuvo acorde con el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica autorizado.

Se emplearon 4 redes de Niebla estándar (12 m de longitud por 2,5 m de altura, ojo de malla de 30 mm) para cada cobertura durante ocho (8) horas diarias (6:00 a 11:00 am y 15:00 a 18:00 pm), para un esfuerzo total de 3 días por cobertura vegetal.

Para la identificación en campo de las especies tanto capturadas y observadas se empleó la Guía ilustrada de la avifauna colombiana (Ayerbe-Quiñones., 2018), y demás herramientas que el ornitólogo consideró necesario.

III. Esfuerzo de muestreo

Para el análisis de esfuerzo de muestreo se preparó una matriz relacionando los puntos de muestreo realizados y la captura de individuos con redes de niebla, en relación con la cantidad de individuos observados por cada cobertura evaluada, con ello se calculó el éxito de muestreo en términos de individuos/punto-hombre para los puntos de observación e individuos/horas-red para las capturas. Se realizaron en total 182 puntos de muestreo, comprendidos entre el 2025 (Modificación de licencia ambiental) y el 2026 (atención de requerimientos de información adicional).

En aves bajo la metodología de puntos de conteo, se encontró que las coberturas de Cultivos permanentes herbáceos – Caña (Cañ) y Mosaico de cultivos (Mc) tuvieron el mayor éxito de muestreo con 38 individuos/punto para cada una, implementándose diez (10) y seis (6) puntos respectivamente. La cobertura con el menor éxito de muestreo fue Bosque fragmentado con vegetación secundaria (Bfvs) con un valor de 8,11 individuos/punto. En total se reportaron 3513 individuos de aves en 182 puntos.

Para el método de captura con redes de niebla, la cobertura con mayor éxito de muestreo fue Cultivos permanentes herbáceos – Caña (Cañ) con un valor de 0,4 individuos/horas-red reportando 52 individuos en 120 horas red. La cobertura con menor éxito fue Bosque denso alto (Bda) con cero (0) individuos/día-red, el esfuerzo para esta cobertura fue de tres (3) días red y no obtuvo ninguna captura. En total se realizaron 30 días red repartidas en ocho (8) coberturas objeto de estudio.

Tabla 2.136 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de aves en el área de influencia del proyecto

Tipo de registro	Índice/Esfuerzo Captura	Bda	Bfvs	Bgr	Cañ	Guad	Mc	P	Tu	Vsa	Vsb	Zic	Zem	Zva	Ac
Captura de Individuos (Redes de niebla)	Nº de capturas	0	23	8	52	0	2	81	0	6	6	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (horas-Red)	120	120	160	120	0	40	360	0	120	120	0	0	0	0
	Éxito de muestreo	0	0,19	0,1	0,4	0	0,1	0,23	0	0,1	0,1	0	0	0	0
Observación	Nº de observaciones	235	146	465	375	59	229	1193	238	359	214	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (Puntos-hombre)	16	18	29	10	7	6	46	10	23	17	0	0	0	0
	Éxito de muestreo	14,69	8,11	16	38	8,429	38	25,9	24	16	13	0	0	0	0

Tipo de registro	Índice/Esfuerzo Captura	Bda	Bfvs	Bgr	Cañ	Guad	Mc	P	Tu	Vsa	Vsb	Zic	Zem	Zva	Ac
	Nº de observaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (días-hombre) (transectos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3
	Éxito de muestreo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abreviaturas coberturas: Bda: Bosque denso alto; Bfvs: bosque fragmentado con vegetación secundaria; Bgr: bosque de galería y/o ripario; Cañ: cultivos permanentes herbáceos-caña; GUA: Guadua; Mc: mosaico de cultivos; Pa: Pastos arbolado; Pe: Pastos enmalezados; Pl: Pastos limpios; Tu: Tejido Urbano; Vsa: vegetación secundaria alta; Vsb: vegetación secundaria baja. Zic: Zonas industriales y comerciales; Zem: Zonas de extracción minera; Zva: Zonas verdes artificializadas, no agrícolas; Ac: Aguas continentales.
Fuente: Integral S.A, 2026

En total se realizaron 183 puntos de conteo en los 62 días efectivos de muestreo, distribuidos en las 12 coberturas objeto de estudio, a continuación, en la Tabla 2.137 se presenta la información de cada evento de muestreo.

Tabla 2.137 Puntos de muestreo del componente avifauna.

ID_Muestreo	Cobertura vegetal	COOR_ESTE	COOR_NORTE
AVBG07	Bosque de galería y/o ripario	4.788.438,62	2.278.655,78
AVGUAD04	Guadua	4.788.301,64	2.277.610,46
AVGUAD05	Guadua	4.788.384,05	2.277.666,07
AVGUAD06	Guadua	4.788.178,98	2.277.645,48
AVGUAD07	Guadua	4.788.047,81	2.277.568,46
BDAV003	Bosque denso alto	4.787.369,05	2.276.138,25
BDAV01	Bosque denso alto	4.794.972,66	2.275.810,62
GLT-AP-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.662,19	2.276.317,08
GLT-AP-02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.745,72	2.276.266,91
GLT-AP-03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.736,78	2.276.125,09
GLT-AP-04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.671,23	2.276.426,94
GLT-AP-05	Pastos arbolados	4.793.252,71	2.276.207,37
GLT-AP-06	Pastos arbolados	4.793.238,69	2.276.573,26
GLT-AP-07	Pastos arbolados	4.793.175,77	2.276.572,39
GLT-AP-08	Pastos arbolados	4.793.149,15	2.276.522,40
GLT-AP-09	Pastos limpios	4.790.801,61	2.276.749,82
GLT-AP-10	Pastos limpios	4.790.720,56	2.276.752,33
GLT-AP-11	Pastos limpios	4.790.942,13	2.276.713,69
GLT-AP-12	Pastos limpios	4.791.345,80	2.276.637,01
GLT-AP-13	Vegetación secundaria baja	4.789.490,19	2.277.797,12
GLT-AP-14	Vegetación secundaria baja	4.789.556,13	2.277.746,23
GLT-AP-15	Vegetación secundaria baja	4.789.415,77	2.277.958,09
GLT-AP-16	Vegetación secundaria baja	4.789.309,90	2.277.931,69
GLT-AP-17	Bosque de galería y ripario	4.786.523,48	2.278.445,00
GLT-AP-18	Bosque de galería y ripario	4.786.482,96	2.278.403,03
GLT-AP-19	Bosque de galería y ripario	4.786.409,94	2.278.336,86
GLT-AP-20	Bosque de galería y ripario	4.786.362,10	2.278.231,13
GLT-AP-21	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.856,89	2.278.152,57
GLT-AP-22	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.855,62	2.278.053,74
GLT-AP-23	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.891,55	2.278.251,17
GLT-AP-24	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.860,39	2.278.345,72
GLT-AP-25	Vegetación secundaria alta	4.789.421,70	2.278.136,25

ID_Muestreo	Cobertura vegetal	COOR_ESTE	COOR_NORTE
GLT-AP-26	Vegetación secundaria alta	4.788.179,43	2.277.489,85
GLT-AP-27	Vegetación secundaria alta	4.788.498,43	2.277.423,07
GLT-AP-28	Vegetación secundaria alta	4.788.789,10	2.277.850,40
GLT-AP-29	Pastos enmalezados	4.788.658,21	2.277.129,59
GLT-AP-30	Pastos enmalezados	4.788.745,55	2.277.212,18
GLT-AP-31	Mosaico de cultivos	4.788.232,13	2.277.215,01
GLT-AP-32	Mosaico de cultivos	4.788.477,46	2.276.733,80
GLT-AP-33	Mosaico de cultivos	4.788.410,73	2.276.719,68
GLT-AP-34	Pastos enmalezados	4.788.894,69	2.277.553,25
GLT-AP-35	Pastos enmalezados	4.786.051,52	2.278.660,69
GLT-AP-36	Pastos enmalezados	4.786.081,69	2.278.707,46
GLT-AR-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.591,84	2.276.341,11
GLT-AR-02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.631,06	2.276.331,02
GLT-AR-03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.671,53	2.276.301,57
GLT-AR-04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.791.692,94	2.276.317,96
GLT-AR-05	Pastos arbolados	4.793.217,63	2.276.408,93
GLT-AR-06	Pastos arbolados	4.793.259,00	2.276.383,80
GLT-AR-07	Pastos arbolados	4.793.258,06	2.276.338,58
GLT-AR-08	Pastos arbolados	4.793.252,37	2.276.295,26
GLT-AR-09	Pastos limpios	4.790.836,92	2.276.758,75
GLT-AR-10	Pastos limpios	4.790.774,81	2.276.740,41
GLT-AR-11	Pastos limpios	4.790.988,08	2.276.699,59
GLT-AR-12	Pastos limpios	4.791.309,92	2.276.652,18
GLT-AR-13	Vegetación secundaria baja	4.789.513,76	2.277.771,49
GLT-AR-14	Vegetación secundaria baja	4.789.513,80	2.277.771,50
GLT-AR-15	Vegetación secundaria baja	4.789.606,77	2.277.768,64
GLT-AR-16	Vegetación secundaria baja	4.789.431,57	2.277.954,82
GLT-AR-17	Bosque de galería y ripario	4.786.564,81	2.278.465,52
GLT-AR-18	Bosque de galería y ripario	4.786.592,37	2.278.502,34
GLT-AR-19	Bosque de galería y ripario	4.786.512,57	2.278.425,70
GLT-AR-20	Bosque de galería y ripario	4.786.402,93	2.278.352,59
GLT-AR-21	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.860,68	2.278.131,44
GLT-AR-22	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.862,22	2.278.102,03
GLT-AR-23	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.858,52	2.278.086,56
GLT-AR-24	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.785.892,46	2.278.288,21
GLT-AR-25	Vegetación secundaria alta	4.789.416,75	2.278.113,49
GLT-AR-26	Vegetación secundaria alta	4.789.425,59	2.278.083,71
GLT-AR-27	Vegetación secundaria alta	4.788.176,14	2.277.524,68
GLT-AR-28	Vegetación secundaria alta	4.788.764,96	2.277.928,77
GLT-AR-29	Pastos enmalezados	4.788.734,62	2.277.186,90
GLT-AR-30	Pastos enmalezados	4.788.725,05	2.277.171,90
GLT-AR-31	Pastos enmalezados	4.786.080,85	2.278.672,14
GLT-AR-32	Pastos enmalezados	4.786.053,29	2.278.725,83
MG_M_CT_02	Vegetación secundaria alta	4.792.078,08	2.276.196,57
MG_M_CT_03	Bosque de galería y ripario	4.792.629,41	2.276.249,03
MG_M_CT_04	Bosque de galería y ripario	4.792.577,89	2.276.251,54
MG_M_CT_05	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.792.425,55	2.277.185,34
MG_M_CT_07	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	4.792.286,66	2.277.124,50
MG_M_CT_08	Bosque de galería y ripario	4.792.247,00	2.276.987,88
MG_M_CT_1B	Vegetación secundaria alta	4.791.413,89	2.276.127,18
MG_M_CT_2B	Vegetación secundaria alta	4.791.291,44	2.276.234,66
PA-BD-01	Bosque denso alto	4.782.016,05	2.277.898,11

ID_Muestreo	Cobertura vegetal	COOR_ESTE	COOR_NORTE
PA-BD-02	Bosque denso alto	4.781.736,87	2.278.080,30
PA-BD-03	Bosque denso alto	4.781.283,90	2.278.186,78
PA-BD-04	Bosque denso alto	4.781.929,24	2.277.247,10
PA-BD-05	Bosque denso alto	4.782.832,76	2.277.344,09
PA-BD-06	Bosque denso alto	4.783.032,23	2.277.223,57
PA-BD-07	Bosque denso alto	4.783.155,47	2.277.064,98
PA-BD-08	Bosque denso alto	4.783.324,42	2.276.658,33
PA-BD-09	Bosque denso alto	4.782.788,31	2.276.746,21
PA-BD-10	Bosque denso alto	4.784.162,55	2.276.488,69
PA-BD-11	Bosque denso alto	4.783.996,81	2.277.440,41
PA-BF-01	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.781.363,82	2.278.404,73
PA-BF-02	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.782.710,29	2.277.584,71
PA-BF-03	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.783.195,07	2.276.897,10
PA-BF-04	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.783.262,43	2.276.785,17
PA-BF-05	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.783.734,39	2.277.409,47
PA-BF-06	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.784.424,29	2.277.198,59
PA-BF-07	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.784.828,11	2.277.021,26
PA-BF-08	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.784.888,35	2.276.583,63
PA-BGR-01	Bosque de galería y/o ripario	4.793.603,58	2.275.335,97
PA-BGR-02	Bosque de galería y/o ripario	4.791.419,52	2.274.994,80
PA-BGR-03	Bosque de galería y/o ripario	4.790.459,31	2.276.058,22
PA-BGR-04	Bosque de galería y/o ripario	4.790.491,21	2.275.953,95
PA-BGR-05	Bosque de galería y/o ripario	4.790.046,98	2.276.360,93
PA-BGR-06	Bosque de galería y/o ripario	4.781.551,56	2.277.238,40
PA-BGR-07	Bosque de galería y/o ripario	4.783.508,89	2.276.544,80
PA-BGR-08	Bosque de galería y/o ripario	4.782.978,60	2.276.380,64
PA-BGR-09	Bosque de galería y/o ripario	4.783.692,94	2.276.299,78
PA-CAÑA-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.790.964,71	2.274.734,35
PA-MC-01	Mosaico de cultivos	4.791.619,65	2.277.897,15
PA-MC-02	Mosaico de cultivos	4.791.245,37	2.277.943,03
PA-PA-01	Pastos arbolados	4.794.230,39	2.275.977,89
PA-PA-02	Pastos arbolados	4.789.783,08	2.276.021,95
PA-PA-03	Pastos arbolados	4.781.897,59	2.277.949,21
PA-PA-04	Pastos arbolados	4.784.212,56	2.276.609,45
PA-PA-05	Pastos arbolados	4.784.007,41	2.276.951,34
PA-PA-06	Pastos arbolados	4.784.618,10	2.277.175,83
PA-PE-01	Pastos enmalezados	4.791.992,92	2.277.974,80
PA-PE-02	Pastos enmalezados	4.791.691,86	2.275.552,89
PA-PE-03	Pastos enmalezados	4.784.857,50	2.276.773,59
PA-PL-01	Pastos limpios	4.793.582,61	2.275.407,69
PA-PL-02	Pastos limpios	4.791.980,16	2.275.883,94
PA-PL-03	Pastos limpios	4.790.348,64	2.276.386,55
PA-PL-04	Pastos limpios	4.782.849,06	2.276.786,00
PA-PL-05	Pastos limpios	4.784.142,12	2.276.812,83
PA-PL-06	Pastos limpios	4.787.675,79	2.275.813,97
PA-PL-07	Pastos limpios	4.787.284,61	2.275.802,19
PA-PL-08	Pastos limpios	4.788.128,23	2.275.776,15
PA-TUD-01	Tejido urbano discontinuo	4.787.259,94	2.275.677,71
PA-TUD-02	Tejido urbano discontinuo	4.787.466,90	2.275.663,22
PAV123	Pastos limpios	4.787.538,91	2.276.322,13
PA-VSA-01	Vegetación secundaria alta	4.793.272,24	2.275.505,91
PA-VSA-02	Vegetación secundaria alta	4.791.709,94	2.275.062,93

ID_Muestreo	Cobertura vegetal	COOR_ESTE	COOR_NORTE
PA-VSA-03	Vegetación secundaria alta	4.789.705,79	2.276.025,33
PA-VSA-04	Vegetación secundaria alta	4.781.545,06	2.277.470,40
PA-VSA-05	Vegetación secundaria alta	4.781.908,68	2.277.730,69
PA-VSA-06	Vegetación secundaria alta	4.781.586,07	2.277.100,61
PA-VSA-07	Vegetación secundaria alta	4.783.151,87	2.277.761,67
PA-VSB-01	Vegetación secundaria baja	4.793.305,03	2.275.441,66
PA-VSB-02	Vegetación secundaria baja	4.791.868,13	2.274.928,23
PA-VSB-03	Vegetación secundaria baja	4.789.912,73	2.276.269,67
PA-VSB-04	Vegetación secundaria baja	4.781.907,46	2.277.162,69
PA-VSB-05	Vegetación secundaria baja	4.782.414,09	2.277.770,62
PA-VSB-06	Vegetación secundaria baja	4.790.546,38	2.277.692,09
PA-VSB-07	Vegetación secundaria baja	4.784.172,88	2.276.301,57
PA-VSB-08	Vegetación secundaria baja	4.783.944,91	2.276.628,95
PLAV01	Pastos limpios	4.786.020,93	2.279.412,55
RA-BGR-01	Bosque de galería y/o ripario	4.794.503,47	2.276.384,74
RA-MC-02	Mosaico de cultivos	4.791.624,99	2.277.938,01
RA-MC-03	Mosaico de cultivos	4.791.602,53	2.277.934,44
RA-PA-01	Pastos arbolados	4.794.462,12	2.276.085,17
RA-PA-02	Pastos arbolados	4.794.469,60	2.276.076,29
RA-VSA-02	Vegetación secundaria alta	4.791.569,32	2.275.132,33
TAB09	Vegetación secundaria baja	4.791.032,66	2.278.028,22
TABBGR01	Bosque de galería y/o ripario	4.785.547,47	2.278.756,11
TAV01	Tejido urbano discontinuo	4.788.790,10	2.278.242,88
TAV02	Tejido urbano discontinuo	4.788.885,40	2.278.356,41
TAV03	Tejido urbano continuo	4.789.019,24	2.278.466,71
TAV04	Tejido urbano continuo	4.789.210,45	2.278.483,31
TAV05	Tejido urbano continuo	4.789.572,62	2.278.528,83
TAV07	Tejido urbano discontinuo	4.790.759,32	2.277.867,77
TAV08	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	4.790.555,90	2.277.793,48
TAV10	Tejido urbano discontinuo	4.790.971,80	2.277.914,80
TAVBD100	Bosque denso alto	4.794.612,18	2.275.646,89
TAVBD11	Bosque denso alto	4.783.263,41	2.279.233,34
TAVBG03	Bosque de galería y/o ripario	4.788.382,58	2.279.368,77
TAVBG04	Bosque de galería y/o ripario	4.788.482,66	2.279.220,22
TAVBG09	Bosque de galería y/o ripario	4.788.721,66	2.278.473,48
TAVBG10	Bosque de galería y/o ripario	4.788.853,28	2.278.470,53
TAVGUAD01	Guadua	4.789.894,48	2.277.955,99
TAVGUAD02	Guadua	4.789.747,64	2.277.810,47
TAVGUAD03	Guadua	4.789.540,07	2.277.861,27
TAVPastos01	Pastos enmalezados	4.783.231,21	2.278.959,18
TAVVSA01	Vegetación secundaria alta	4.793.779,15	2.277.293,83
TAVVSA100	Vegetación secundaria alta	4.792.611,45	2.277.417,06
TAVVSA101	Vegetación secundaria alta	4.793.247,74	2.277.398,29
TAVVSA102	Vegetación secundaria alta	4.789.808,30	2.278.137,37
TBDAV04	Bosque denso alto	4.787.191,44	2.276.323,13
TBDAV05	Bosque denso alto	4.783.563,80	2.278.888,01
TVSAAV002	Vegetación secundaria alta	4.792.568,68	2.277.700,62

Fuente: Integral S.A, 2026.

Tabla 2.138 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna

ID_MUES_TR	N_COBERT	NOMENCLATURA	COTA_MIN	COTA_MAX	LONGITUD_M
T-ZIC-03	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	861,65	865,03	118,46
T-IR-01	Instalaciones recreativas	142	814,51	816,20	155,43
T-ZEM-02	Zonas de extracción minera y escombreras	13	851,51	882,43	269,53
T-ZEM-01	Zonas de extracción minera y escombreras	131	883,72	930,98	463,64
T-ZIC-02	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,99	832,60	389,48
T-ZIC-01	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,45	851,83	318,20

Fuente: Integral S.A, 2026

b. Mastofauna

Para el registro de mamíferos, se aplicaron las siguientes técnicas de muestreo abarcando todos los grupos de mamíferos: voladores, y terrestres (pequeños, medianos y grandes):

I. Método Indirectos

i. Cámara trampa

Las cámaras trampa son usadas para detectar presencia o ausencia de animales, realizar inventarios, monitoreo de poblaciones en diferentes paisajes, estimaciones de abundancia y densidad por nombrar algunas (Díaz-Pulido, 2012). Este tipo de trampas se utilizan para registrar especies crípticas, que se mueven largas distancias, y que están en bajas densidades y que generalmente quedan por fuera de los inventarios de fauna (Maffei *et al*., 2002) y consiste en el registro en video activado por movimiento, permitiendo el registro indirecto continuo tanto diurno como nocturno, desde el momento de su (Díaz-Pulido, 2012). Las estaciones de muestreo se procuró cubrir todos los tipos de hábitat ya que algunas especies podrían estar limitadas a sólo uno de ellos (Diaz et al. 2012). Y se optó por no instalar equipos en coberturas abiertas como potreros o muy cercanas a asentamientos humanos para evitar el robo de los equipos.

La instalación de los equipos se realizó teniendo en cuenta lo sugerido por (Díaz-Pulido, 2012)

La posición de la cámara perpendicular al camino para maximizar la probabilidad de detectar todo el flanco del animal.

- La ubicación de la cámara sobre un sector del camino nivelado y plano y sobre arboles rectos y con poco ángulo de engrosamiento del tronco entre tres y cuatro metros de donde se espera que pase el animal.
- Cortar a ras del suelo toda la vegetación en frente de la cámara en una amplitud de un ángulo de 180 grados.
- Aplicar el examen de “gateo” que es prueba fehaciente de la correcta ubicación de la cámara trampa en campo. Una vez la cámara está instalada, se debe activar el modo de prueba y gatear en frente a la cámara para cerciorarse de que el objetivo ha sido detectado. El gateo se hace con el pecho contra el suelo, pues solo así se asegura que, hasta los animales más pequeños, como ratones, serán detectados. Una vez la cámara detecte el objetivo a la distancia correcta, se puede armar el equipo.

Teniendo en cuenta lo anterior se instalaron 8 cámaras trampa en las coberturas más conservadas como bosques y vegetación secundaria. Estas cámaras fueron cebadas y permanecieron activas desde el 31 de enero hasta el 28 de febrero de 2025.

ii. Recorrido de observación y búsqueda de rastros

Se realizaron recorridos de observación libre, tanto diurnos como nocturnos, en cada una de coberturas vegetales para buscar rastros, huellas, heces, madrigueras, restos alimenticios que indiquen presencia de mamíferos. Para la identificación de los rastros se tuvieron en cuanta las guías de huella de algunos mamíferos terrestres de Colombia de (Navarro., J. F. & Muñoz., J., 2000) y Huellas y rastros de los mamíferos en Colombia (José Fernando, Navarro P., Andrés, Arias Alzate & Carlos, A. Delgado V., 2021) Todas las evidencias halladas en campo fueron fotografiadas y georreferenciadas.

En total se registraron 16 puntos de observación y 9 de rastros, distribuidos en las 8 coberturas vegetales, ya que no se registró presencia de este grupo en Mosaico de Cultivos.

II. Métodos de captura

i. Captura con redes de niebla (Mamíferos voladores)

Las redes de niebla, originalmente utilizadas para la captura de aves, son el elemento más empleado en la actualidad para capturar murciélagos. El uso de redes permite capturar individuos para confirmar la identidad sistemática de las especies, ya que se dispone de ejemplares en la mano, además de recabar datos adicionales en cuanto a su morfometría, dieta o reproducción (Bracamonte, 2018).

Las redes fueron ubicadas de tal manera de abarcar todos los microambientes posibles, como el interior y el borde de bosques o de los lugares que habitualmente emplean los murciélagos para desplazarse y donde, por lo tanto, hay más oportunidad de capturar especies como cuerpos de agua, arroyos, sendas, caminos y claros (Bracamonte, 2018) Al igual que para aves, cuando se presentaron lluvias se cerraron las redes para evitar que los murciélagos atrapados se mojaran y se vean afectados por el frio. Las redes fueron revisadas cada 20 minutos bajo condiciones normales del clima y con más frecuencia en situaciones de altas temperaturas, con el fin evitar la mortalidad de individuos ((Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., & Umaña, A-M., 2004).

A los individuos capturados se les extrajo de las redes de forma cuidadosa y se tomó registro fotográfico, y algunos datos como: longitud del antebrazo, longitud de la cola, presencia de uropatagio, sexo, estado reproductivo (hembras embarazadas o lactantes, machos con testículos prominentes). Una vez tomados estos datos los individuos capturados fueron liberados de inmediato en la misma área de captura Dado que no hubo incertidumbre taxonómica de los murciélagos colectados, y fue posible identificar *in situ*, no se requirió el sacrificio y preservación de especímenes.

De acuerdo con el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica autorizado (RE-01318-2024) se emplearon 9 redes de Niebla estándar (12 m de longitud por 2,5 m de altura, ojo de malla de 30mm) por cobertura (17:00 a 23:00) durante 3 días efectivos en cada cobertura vegetal.

ii. Captura con trampas Sherman Mamíferos terrestres pequeños

La trampa de captura viva tipo Sherman es un dispositivo que permite la captura de animales pequeños para realizar investigaciones de campo, siendo la captura de manera segura, buscando siempre proteger los individuos ya que este tipo de trampa no ocasiona lesiones en los animales y se utiliza para capturar sin matar una gran variedad de especies de fauna silvestre como ratones, ratas, ardillas de tierra, entre otras (Barnett, 1995). Se sugiere la

instalación de trampas Sherman con distancia de tres y siete metros una de la otra en la vegetación donde se presuma la presencia de pequeños mamíferos como troncos caídos, raíces, madrigueras, rocas, oquedades, en orillas de fuentes de agua y ramas de árboles. Cada trampa debe estar amarrada a un tronco o una rama la cual debe estar marcada con cinta de colores llamativos y que contrasten con el ambiente para facilitar su encuentro (Tirita, 1998) . Para atraer a los mamíferos a las trampas se deben cebar con alimentos con olores dulces y frutales (avena, granola, maní, esencia de vainilla).

Siguiendo las instrucciones, las trampas fueron revisadas y recebadas cada día en horas de la mañana a fin de evitar muertes de individuos por ahogamiento o inanición (Tirita, 1998) Los individuos que se capturaron se les extrajo de las trampas de forma cuidadosa y se tomó registro fotográfico, y algunos datos como: longitud del cuerpo, longitud de la cola, sexo, estado reproductivo (hembras embarazadas o lactantes, machos con testículos prominentes). Una vez tomados estos datos los individuos capturados fueron liberados de inmediato en la misma área de captura; no requiriéndose el sacrificio y preservación (colecta definitiva) de ningún individuo.

De acuerdo con el Permiso de Recolección que ampara las colectas, se emplearon 25 trampas Sherman de 23 cm de largo por 9,5 cm de alto por 8cm de ancho. Las trampas permanecieron activas por 12 horas (6 pm -6am) por día/ durante 3 días efectivos por cobertura vegetal.

iii. Captura con trampas Tomahawk Mamíferos terrestres medianos

La trampa de captura viva tipo Tomahawk es un dispositivo que permite la captura de animales medianos para realizar investigaciones de campo, siendo la captura de manera segura, buscando siempre proteger los individuos ya que este tipo de trampa no ocasiona lesiones en los animales y se utiliza para capturar sin matar una gran variedad de especies de fauna silvestre como marsupiales medianos, carnívoros medianos, xenarthras como armadillos entre otros (Barnett, 1995).

Las trampas tipo Tomahawk se sugieren instalar con distancia de diez metros una de la otra en la vegetación donde se presuma la presencia de mamíferos medianos, sobre todo en donde se identifiquen senderos, rastros y olores, en orillas de cuerpos de agua, raíces, troncos caídos madrigueras en la tierra y en cuevas en roca. Cada trampa debe estar amarrada a un tronco o una rama la cual debe estar marcada con cinta de colores llamativos y que contrasten con el ambiente para facilitar su encuentro (Tirita, 1998). Para atraer a los mamíferos a las trampas se deben cebar con alimentos con olores fuertes como pescado, carne o frutas.

Las trampas fueron revisadas y recebadas cada día en horas de la mañana a fin de evitar muertes de individuos por estrés (Tirita, 1998).

A los individuos capturados se les extrajo de las trampas de forma cuidadosa y de preferencia con guantes de carnaza por seguridad y se tomó registro fotográfico, sexo y estado reproductivo, cuando fue posible controlar el animal sin hacerle daño, ya que los mamíferos medianos son más enérgicos y complejos de manipular. Una vez tomados estos datos los individuos capturados fueron liberados de inmediato en la misma área de captura.

De acuerdo con el Permiso de Recolección que ampara las colectas, se emplearon 5 trampas Tomahawk de Tipo-1(45,7 cm de largo x 12,7 cm alto x 12,7 cm ancho) Las trampas permanecieron activas por 12 horas (6 pm -6am) por día/ durante 3 días efectivos por cobertura vegetal.

III. Esfuerzo de muestreo

El esfuerzo de muestreo para mamíferos se calculó de acuerdo con cada una de las metodologías empleadas. Para la captura de pequeños mamíferos no voladores mediante trampas Sherman y Tomahawk, el esfuerzo se expresó en trampas-noche, obtenido a partir del número de trampas activas por el número de noches efectivas de muestreo. En el caso de los murciélagos, el esfuerzo de muestreo se estimó en metros-hora-red (m·h-red), considerando la longitud total de las redes de niebla y el tiempo efectivo de apertura. Para el fototrampeo, el esfuerzo se expresó en cámaras-noche, calculado como el número de cámaras activas por el tiempo efectivo de funcionamiento. Finalmente, para los recorridos de observación y búsqueda de rastros, el esfuerzo se cuantificó en horas-hombre de búsqueda. A partir de los datos obtenidos se calcularon índices de éxito de muestreo para las metodologías de captura y fototrampeo, así como tasas de registro para los recorridos de observación y búsqueda de rastros, relacionando el número de capturas o registros obtenidos con el esfuerzo correspondiente (Véase la Tabla 2.139).

En el muestreo de mamíferos pequeños, los mayores éxitos de captura con trampas Sherman se registraron en las coberturas caña y vegetación secundaria alta (0,16 capturas/trampa-noche), seguidas por bosque denso y guadua (0,12 capturas/trampa-noche). Por su parte, las trampas Tomahawk presentaron los valores más altos en la cobertura pastos (0,33 capturas/trampa-noche), seguida por vegetación secundaria alta (0,27 capturas/trampa-noche) y vegetación secundaria baja (0,13 capturas/trampa-noche), lo que evidencia una mayor efectividad de este método en estas coberturas para la detección de mamíferos medianos y terrestres.

En el muestreo de murciélagos mediante redes de niebla se registraron capturas en todas las coberturas evaluadas, con una marcada variación en el éxito de muestreo. La cobertura guadua presentó el valor más alto (16,67 capturas/100 m·h-red), seguida por mosaico de cultivos (9,17 capturas/100 m·h-red), evidenciando una mayor eficiencia de captura en estas coberturas. En contraste, las coberturas pastos (1,29 capturas/100 m·h-red) y caña (1,39 capturas/100 m·h-red) registraron los menores valores de éxito de muestreo, pese a contar con esfuerzos de muestreo comparables o superiores a los de otras coberturas. Estos resultados sugieren diferencias en la actividad o disponibilidad de murciélagos entre los distintos tipos de cobertura vegetal presentes en el área de estudio.

El fototrampeo mostró los mayores éxitos de registro en las coberturas bosque fragmentado con vegetación secundaria (29,42 registros/100 cámaras-noche) y vegetación secundaria alta (28,66 registros/100 cámaras-noche), seguidas por bosque denso (21,37 registros/100 cámaras-noche) y bosque de galería (20,13 registros/100 cámaras-noche), indicando una mayor frecuencia de detección de mamíferos mediante esta metodología. Por su parte, los recorridos de observación y búsqueda de rastros registraron las mayores tasas de registro en bosque fragmentado con vegetación secundaria (7,67 registros/hora-hombre), vegetación secundaria alta (3,88 registros/hora-hombre) y vegetación secundaria baja (2,63 registros/hora-hombre), lo que sugiere una mayor ocurrencia de evidencias directas e indirectas de mamíferos en estas coberturas durante las actividades de campo.

Tabla 2.139 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de mamíferos en el área de influencia del proyecto

Tipo de registro	Índice/Esfuerzo Captura	Bd	Bfvs	Bgr	Cañ	Guad	Mc	P	Tu	Vsa	Vsb	Zic	Zem	Zva	Ac
Captura de Individuos (Trampas Sherman)	Nº de capturas	3	0	0	4	3	0	2	0	4	2	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (trampas-noche)	25	25	25	25	25	25	75	0	25	25	0	0	0	0
	Éxito de muestreo (capturas/trampas-noche)	0,12	0	0	0,2	0,12	0	0,03	0	0,2	0,1	0	0	0	0
	Nº de capturas	0	1	1	1	0	0	15	0	4	2	0	0	0	0

Tipo de registro	Índice/Esfuerzo Captura	Bd	Bfvs	Bgr	Cañ	Guad	Mc	P	Tu	Vsa	Vsb	Zic	Zem	Zva	Ac
Captura de Individuos (Trampas Tomahawk)	Esfuerzo de muestreo (trampas-noche)	15	15	15	15	15	15	45	0	15	15	0	0	0	0
	Éxito de muestreo (capturas/trampas-noche)	0	0,07	0,1	0,1	0	0	0,33	0	0,3	0,1	0	0	0	0
Captura de Individuos (Redes de niebla)	Nº de capturas	18	34	38	2	40	22	21	12	29	22	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (m·h-red)	432	720	720	144	240	240	1632	336	720	720	0	0	0	0
	Éxito de muestreo (capturas/100 m·h-red)	4,17	4,72	5,3	1,4	16,67	9,2	1,29	3,6	4	3,1	0	0	0	0
Fototrampeo	N.º de registros independientes	100	153	179	0	0	0	0	0	96	73	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (Cámaras-noche)	468	520	889	0	0	0	0	0	335	558	0	0	0	0
	Éxito de muestreo (registros/100 cámaras-noche)	21,37	29,4	20	0	0	0	0	0	29	13	0	0	0	0
Recorridos de observación y búsqueda de rastros	N.º de registros	19	23	36	11	7	4	20	10	62	21	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (puntos-hombre)	10	3	15	10	7	4	18	4	16	8	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (transectos-hombre)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3
	Tasa de registro (registros/hora-hombre)	1,9	7,67	2,4	1,1	1	1	1,11	2,5	3,9	2,6	0	0	0	0

Abreviaturas coberturas: Bda: Bosque denso alto; Bfvs: bosque fragmentado con vegetación secundaria; Bgr: bosque de galería y/o ripario; Cañ: cultivos permanentes herbáceos-caña; GUA: Guadua; Mc: mosaico de cultivos; Pa: Pastos arbolado; Pe: Pastos enmalezados; Pl: Pastos limpios; Tu: Tejido Urbano; Vsa: vegetación secundaria alta; Vsb: vegetación secundaria baja, . Zic: Zonas industriales y comerciales; Zem: Zonas de extracción minera; Zva: Zonas verdes artificializadas, no agrícolas; Ac: Aguas continentales.

.

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 2.140 Puntos de muestreo del componente Mastofauna

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
AVBG07	Bosque de galería y/o ripario	814,34	4788438,62	2278655,78
AVGUAD04	Guadua	920,01	4788301,64	2277610,46
AVGUAD05	Guadua	899,53	4788384,05	2277666,07
AVGUAD06	Guadua	908,22	4788178,98	2277645,48
AVGUAD07	Guadua	921,61	4788047,81	2277568,46
BD1	Bosque denso alto	951,69	4794758	2275772
BD2	Bosque denso alto	934,25	4794466	2275469
BD3	Bosque denso alto	924,41	4794571	2275278
BD4	Bosque denso alto	994,09	4793984	2275206
BD5	Bosque denso alto	963,99	4783317	2279194
BD6	Bosque denso alto	1001,39	4783448	2279127
BDAV003	Bosque denso alto	994,77	4787369,05	2276138,25
BDAV01	Bosque denso alto	988,91	4794972,66	2275810,62
BF13	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	849,93	4787039	2279135
BF14	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1074,68	4792376	2275571
BG11	Bosque de galería y/o ripario	856,84	4785516	2278900
BG15	Bosque de galería y/o ripario	1112,10	4791904	2275143

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
BG8	Bosque de galería y/o ripario	860,78	4793866	2275880
BG9	Bosque de galería y/o ripario	898,35	4783174	2278955
GLT-AP-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	886,00	4791662,19	2276317,08
GLT-AP-02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	895,00	4791745,72	2276266,91
GLT-AP-03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	876,00	4791736,78	2276125,09
GLT-AP-04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	837,00	4791671,23	2276426,94
GLT-AP-05	Pastos arbolados	889,00	4793252,71	2276207,37
GLT-AP-06	Pastos arbolados	847,00	4793238,69	2276573,26
GLT-AP-07	Pastos arbolados	834,00	4793175,77	2276572,39
GLT-AP-08	Pastos arbolados	830,00	4793149,15	2276522,4
GLT-AP-09	Pastos limpios	887,00	4790801,61	2276749,82
GLT-AP-10	Pastos limpios	906,00	4790720,56	2276752,33
GLT-AP-11	Pastos limpios	857,00	4790942,13	2276713,69
GLT-AP-12	Pastos limpios	858,00	4791345,8	2276637,01
GLT-AP-13	Vegetación secundaria baja	856,00	4789490,19	2277797,12
GLT-AP-14	Vegetación secundaria baja	849,00	4789556,13	2277746,23
GLT-AP-15	Vegetación secundaria baja	862,00	4789415,77	2277958,09
GLT-AP-16	Vegetación secundaria baja	867,00	4789309,9	2277931,69
GLT-AP-17	Bosque de galería y ripario	849,00	4786523,48	2278445
GLT-AP-18	Bosque de galería y ripario	847,00	4786482,96	2278403,03
GLT-AP-19	Bosque de galería y ripario	848,00	4786409,94	2278336,86
GLT-AP-20	Bosque de galería y ripario	850,00	4786362,1	2278231,13
GLT-AP-21	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	932,00	4785856,89	2278152,57
GLT-AP-22	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	936,00	4785855,62	2278053,74
GLT-AP-23	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	939,00	4785891,55	2278251,17
GLT-AP-24	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	943,00	4785860,39	2278345,72
GLT-AP-25	Vegetación secundaria alta	864,00	4789421,7	2278136,25
GLT-AP-26	Vegetación secundaria alta	990,00	4788179,43	2277489,85
GLT-AP-27	Vegetación secundaria alta	888,00	4788498,43	2277423,07
GLT-AP-28	Vegetación secundaria alta	896,00	4788789,1	2277850,4
GLT-AP-29	Pastos enmalezados	894,00	4788658,21	2277129,59
GLT-AP-30	Pastos enmalezados	901,00	4788745,55	2277212,18
GLT-AP-31	Mosaico de cultivos	956,00	4788232,13	2277215,01
GLT-AP-32	Mosaico de cultivos	970,00	4788477,46	2276733,8
GLT-AP-33	Mosaico de cultivos	991,00	4788410,73	2276719,68
GLT-AP-34	Pastos enmalezados	916,00	4788894,69	2277553,25
GLT-AP-35	Pastos enmalezados	896,00	4786051,52	2278660,69
GLT-AP-36	Pastos enmalezados	893,00	4786081,69	2278707,46
GLT-AR-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	863,00	4791591,84	2276341,11
GLT-AR-02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	871,00	4791631,06	2276331,02
GLT-AR-03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	893,00	4791671,53	2276301,57
GLT-AR-04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	885,00	4791692,94	2276317,96
GLT-AR-05	Pastos arbolados	858,00	4793217,63	2276408,93
GLT-AR-06	Pastos arbolados	863,00	4793259	2276383,8
GLT-AR-07	Pastos arbolados	861,00	4793258,06	2276338,58
GLT-AR-08	Pastos arbolados	868,00	4793252,37	2276295,26
GLT-AR-09	Pastos limpios	877,00	4790836,92	2276758,75
GLT-AR-10	Pastos limpios	896,00	4790774,81	2276740,41

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
GLT-AR-11	Pastos limpios	877,00	4790988,08	2276699,59
GLT-AR-12	Pastos limpios	859,00	4791309,92	2276652,18
GLT-AR-13	Vegetación secundaria baja	872,00	4789513,76	2277771,49
GLT-AR-14	Vegetación secundaria baja	865,00	4789513,8	2277771,5
GLT-AR-15	Vegetación secundaria baja	842,00	4789606,77	2277768,64
GLT-AR-16	Vegetación secundaria baja	859,00	4789431,57	2277954,82
GLT-AR-17	Bosque de galería y ripario	847,00	4786564,81	2278465,52
GLT-AR-18	Bosque de galería y ripario	840,00	4786592,37	2278502,34
GLT-AR-19	Bosque de galería y ripario	846,00	4786512,57	2278425,7
GLT-AR-20	Bosque de galería y ripario	848,00	4786402,93	2278352,59
GLT-AR-21	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	932,00	4785860,68	2278131,44
GLT-AR-22	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	929,00	4785862,22	2278102,03
GLT-AR-23	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	931,00	4785858,52	2278086,56
GLT-AR-24	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	938,00	4785892,46	2278288,21
GLT-AR-25	Vegetación secundaria alta	858,00	4789416,75	2278113,49
GLT-AR-26	Vegetación secundaria alta	863,00	4789425,59	2278083,71
GLT-AR-27	Vegetación secundaria alta	984,00	4788176,14	2277524,68
GLT-AR-28	Vegetación secundaria alta	882,00	4788764,96	2277928,77
GLT-AR-29	Pastos enmalezados	900,00	4788734,62	2277186,9
GLT-AR-30	Pastos enmalezados	900,00	4788725,05	2277171,9
GLT-AR-31	Pastos enmalezados	894,00	4786080,85	2278672,14
GLT-AR-32	Pastos enmalezados	895,00	4786053,29	2278725,83
MG_M_AV_01	Bosque de galería y/o ripario	846,45	4790827,31	2276886,07
MG_M_AV_02	Bosque de galería y/o ripario	846,04	4790816,76	2276868,95
MG_M_AV_03	Vegetación secundaria baja	849,11	4788820,51	2277675,26
MG_M_AV_04	Vegetación secundaria alta	902,65	4792125,96	2276016,07
MG_M_AV_05	Vegetación secundaria baja	825,00	4789510,65	2277857,15
MG_M_AV_06	Vegetación secundaria alta	938,29	4788364,76	2277284,71
MG_M_AV_07	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	862,25	4786165,62	2278178,48
MG_M_AV_08	Bosque de galería y/o ripario	866,07	4786000,25	2278333,58
MG_M_AV_09	Vegetación secundaria baja	857,06	4786195,18	2278158,8
MG_M_AV_10	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	937,78	4785877	2278178,59
MG_M_AV_11	Vegetación secundaria baja	854,34	4788730,69	2277609,71
MG_M_AV_12	Vegetación secundaria alta	845,86	4789802,54	2277579,68
MG_M_AV_13	Vegetación secundaria alta	858,74	4789417,08	2278056,11
MG_M_AV_14	Vegetación secundaria alta	889,79	4788786,03	2277885,79
MG_M_AV_15	Vegetación secundaria alta	843,70	4793443,89	2277131,49
MG_M_AV_16	Vegetación secundaria alta	920,65	4788605,92	2276958,42
MG_M_AV_17	Bosque denso alto	996,56	4793931,69	2275255,13
MG_M_AV_18	Bosque denso alto	1000,16	4787205,87	2276413,23
MG_M_AV_19	Vegetación secundaria alta	820,64	4792603,53	2277670,59
MG_M_AV_20	Guadua	823,56	4789676,34	2277779,05
MG_M_AV_21	Tejido urbano discontinuo	820,99	4790946,04	2277904,64
MG_M_AV_22	Vegetación secundaria alta	929,01	4783293,94	2278657,99
MG_M_AV_23	Vegetación secundaria alta	1045,69	4783371,96	2278001,57
MG_M_AV_24	Guadua	924,02	4788050,95	2277569,21

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_AV_25	Bosque denso alto	1154,05	4786588,91	2275018,42
MG_M_AV_26	Caña	864,09	4790206,96	2277272,81
MG_M_AV_27	Caña	867,72	4790458,75	2277837
MG_M_AV_28	Caña	845,30	4790503,32	2277639,53
MG_M_AV_29	Pastos arbolados	956,05	4788076,03	2277192,29
MG_M_AV_30	Pastos arbolados	961,12	4788125,33	2277017,32
MG_M_AV_31	Vegetación secundaria alta	1149,69	4786477,83	2274919,61
MG_M_AV_32	Bosque denso alto	993,62	4787437,04	2276135,6
MG_M_AV_33	Pastos enmalezados	1008,59	4787757,41	2275926,45
MG_M_CT_01	Vegetación secundaria alta	872,19	4792138,89	2276133,88
MG_M_CT_02	Vegetación secundaria alta	869,52	4792078,08	2276196,57
MG_M_CT_02	Vegetación secundaria alta	869,52	4792078,08	2276196,57
MG_M_CT_03	Bosque de galería y ripario	844,27	4792629,41	2276249,03
MG_M_CT_03	Bosque de galería y/o ripario	844,27	4792629,41	2276249,03
MG_M_CT_04	Bosque de galería y ripario	851,84	4792577,89	2276251,54
MG_M_CT_04	Bosque de galería y/o ripario	851,84	4792577,89	2276251,54
MG_M_CT_05	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	887,99	4792425,55	2277185,34
MG_M_CT_05	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	887,99	4792425,55	2277185,34
MG_M_CT_06	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	923,89	4792430,19	2277096,33
MG_M_CT_07	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	904,80	4792286,66	2277124,5
MG_M_CT_07	Bosque fragmentado con Vegetación secundaria	904,80	4792286,66	2277124,5
MG_M_CT_08	Bosque de galería y ripario	893,30	4792247	2276987,88
MG_M_CT_08	Bosque de galería y/o ripario	893,30	4792247	2276987,88
MG_M_CT_1B	Vegetación secundaria alta	878,10	4791413,89	2276127,18
MG_M_CT_1B	Vegetación secundaria alta	878,10	4791413,89	2276127,18
MG_M_CT_2B	Vegetación secundaria alta	868,38	4791291,44	2276234,66
MG_M_CT_2B	Vegetación secundaria alta	868,38	4791291,44	2276234,66
MG_M_RA_01	Vegetación secundaria alta	864,57	4792110	2276237
MG_M_RA_02	Vegetación secundaria alta	846,61	4792632,48	2276329,95
MG_M_RA_03	Vegetación secundaria alta	859,12	4791349,04	2276235,46
MG_M_RA_04	Vegetación secundaria baja	850,66	4789556,16	2277783,71
MG_M_RA_05	Bosque de galería y/o ripario	851,81	4786602,06	2278484,69
MG_M_RA_06	Bosque de galería y/o ripario	861,09	4786534,69	2278412,44
MG_M_RA_07	Bosque de galería y/o ripario	847,93	4786409,99	2278347,48
MG_M_RA_08	Bosque de galería y/o ripario	846,98	4786404,69	2278378,79
MG_M_RA_09	Bosque de galería y/o ripario	853,39	4786485,06	2278390,02
MG_M_RA_10	Bosque denso alto	1004,21	4794914,62	2275849,57
MG_M_RA_11	Bosque denso alto	975,79	4794760,7	2275820,72
MG_M_RA_12	Bosque denso alto	974,84	4794738,8	2275817,04
MG_M_RA_13	Bosque denso alto	974,94	4794713,43	2275805,08
MG_M_RA_14	Bosque denso alto	967,65	4783301,75	2279175,1
MG_M_RA_15	Guadua	820,86	4789873,11	2277881,58
MG_M_RA_16	Guadua	821,03	4789819,47	2277849,83
MG_M_RA_17	Guadua	822,27	4789732,9	2277794,33
MG_M_RA_18	Guadua	820,47	4789882,67	2277864,52
MG_M_RA_19	Guadua	821,65	4789830,2	2277848,9
MG_M_RA_20	Bosque de galería y/o ripario	817,00	4788458,7	2279288,85

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_RA_21	Bosque de galería y/o ripario	819,57	4788424,07	2279318,05
MG_M_RA_22	Pastos arbolados	839,18	4794252,22	2275860,14
MG_M_RA_23	Pastos arbolados	829,29	4794420,67	2275957,99
MG_M_RA_24	Pastos arbolados	855,24	4794483,08	2276015,15
MG_M_RA_25	Pastos arbolados	824,51	4794375,25	2275995,7
MG_M_RA_26	Pastos arbolados	862,85	4794315,18	2275900,58
MG_M_RA_27	Pastos arbolados	862,52	4794314,48	2275901,04
MG_M_RA_28	Pastos arbolados	841,72	4794630,73	2276089,03
MG_M_RA_29	Bosque de galería y/o ripario	820,65	4794330,42	2276112,38
MG_M_RA_30	Pastos limpios	819,42	4794394,41	2276114,18
MG_M_RA_31	Bosque de galería y/o ripario	837,80	4794710,58	2276130,44
MG_M_RA_32	Pastos arbolados	840,99	4794294,73	2275938,07
MG_M_RA_33	Bosque de galería y/o ripario	822,49	4794379,11	2276112,38
MG_M_RA_34	Bosque de galería y/o ripario	819,54	4794389,69	2276116,79
MG_M_RA_35	Vegetación secundaria baja	1138,49	4791809,13	2274926,97
MG_M_RA_36	Vegetación secundaria baja	1145,47	4791838,87	2274926,36
MG_M_RA_37	Vegetación secundaria baja	1175,42	4791963,75	2274852,94
MG_M_RA_38	Mosaico de cultivos	814,81	4789098,94	2278623,38
MG_M_RA_39	Mosaico de cultivos	814,96	4789057,73	2278575,45
MG_M_RA_40	Mosaico de cultivos	836,23	4791620,66	2277888,31
MG_M_RA_41	Mosaico de cultivos	814,79	4789118,47	2278608,34
MG_M_RA_42	Pastos limpios	809,88	4791516,38	2277943,69
MG_M_RA_43	Tejido urbano continuo	815,01	4789170,93	2278602,63
MG_M_RA_44	Pastos arbolados	805,08	4794457,73	2276655,06
MG_M_RA_45	Pastos limpios	810,55	4791516,83	2277935,27
MG_M_RA_46	Caña	833,97	4790462,36	2277523,16
MG_M_RA_47	Caña	863,35	4790165,12	2277168,79
MG_M_RA_48	Pastos arbolados	960,08	4788021,86	2277074,72
MG_M_RA_49	Vegetación secundaria alta	1132,56	4786296,16	2275024,23
MG_M_RA_50	Pastos limpios	993,38	4787692,05	2275828,24
MG_M_RA_51	Pastos limpios	997,58	4787730,57	2275796,73
MG_M_RA_52	Bosque denso alto	961,31	4787471,42	2276090,04
MG_M_RA_53	Tejido urbano discontinuo	828,26	4794498,45	2276781,45
MG_M_RA_54	Tejido urbano discontinuo	959,58	4787448,24	2276080,33
MG_M_RA_55	Caña	1039,45	4790888,41	2274922,78
MG_M_RA_56	Caña	878,68	4790594,14	2277741,27
MG_M_RA_57	Caña	941,99	4791769,57	2275801,84
MG_M_RA_58	Caña	1031,98	4790946,13	2274856,5
MG_M_RA_59	Caña	1083,79	4790850,15	2275020,04
MG_M_RD_01	Pastos arbolados	855,37	4793237,79	2276389,07
MG_M_RD_01A	Caña	836,29	4790308,24	2277406,01
MG_M_RD_01B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	940,96	4785865,75	2278328,12
MG_M_RD_01C	Vegetación secundaria alta	855,64	4789790,32	2277595,21
MG_M_RD_01D	Pastos enmalezados	901,25	4788741,3	2277198,93
MG_M_RD_01E	Bosque denso alto	973,12	4794657,16	2275749,46
MG_M_RD_01F	Guadua	821,08	4789832,6	2277869,24
MG_M_RD_01H	Tejido urbano discontinuo	822,28	4790937,65	2277880,02
MG_M_RD_02	Pastos arbolados	860,08	4793238,04	2276398,02
MG_M_RD_02A	Caña	834,86	4790327,24	2277420,96
MG_M_RD_02B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	938,50	4785872,77	2278315,71

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_RD_02C	Vegetación secundaria alta	856,26	4789773,18	2277595,93
MG_M_RD_02D	Pastos enmalezados	901,15	4788742,76	2277204,45
MG_M_RD_02E	Bosque denso alto	976,94	4794626,09	2275719,5
MG_M_RD_02F	Guadua	821,04	4789825	2277861
MG_M_RD_02H	Tejido urbano discontinuo	821,25	4790944,46	2277897,24
MG_M_RD_03	Pastos arbolados	847,26	4793218,83	2276374,88
MG_M_RD_03A	Caña	836,23	4790304,89	2277404,86
MG_M_RD_03B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	937,71	4785886,85	2278294,09
MG_M_RD_03C	Vegetación secundaria alta	846,63	4789795,5	2277579,23
MG_M_RD_03D	Pastos enmalezados	898,52	4788778,9	2277201,22
MG_M_RD_03E	Bosque denso alto	978,92	4794601,24	2275698,04
MG_M_RD_03F	Guadua	821,08	4789796,43	2277837,53
MG_M_RD_03H	Tejido urbano discontinuo	821,43	4790939,96	2277906,21
MG_M_RD_04	Pastos arbolados	842,67	4793202,14	2276378,59
MG_M_RD_04B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	939,88	4785895,48	2278266,2
MG_M_RD_04C	Vegetación secundaria alta	851,72	4789780,71	2277586,44
MG_M_RD_04D	Pastos enmalezados	899,40	4788730,85	2277185,04
MG_M_RD_04E	Bosque denso alto	957,55	4783264,32	2279210,3
MG_M_RD_04F	Guadua	911,60	4787933,57	2277501,98
MG_M_RD_04H	Tejido urbano discontinuo	814,72	4790921,31	2278122,87
MG_M_RD_05	Pastos arbolados	861,13	4793258,97	2276345,21
MG_M_RD_05B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	953,15	4785893,4	2277954,86
MG_M_RD_05C	Vegetación secundaria alta	856,43	4789410,58	2278119,37
MG_M_RD_05E	Bosque denso alto	948,82	4783260,08	2279228,34
MG_M_RD_05F	Guadua	919,13	4787989,14	2277550,08
MG_M_RD_05H	Tejido urbano discontinuo	816,90	4790913,6	2278172,94
MG_M_RD_06	Pastos arbolados	863,76	4793255,91	2276325,54
MG_M_RD_06B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	941,45	4785876,99	2278001,58
MG_M_RD_06C	Vegetación secundaria alta	860,99	4789423,43	2278096,66
MG_M_RD_06E	Bosque denso alto	943,14	4783255,04	2279241,29
MG_M_RD_06H	Tejido urbano discontinuo	813,01	4790951,19	2278135,75
MG_M_RD_07	Pastos arbolados	868,96	4793255,25	2276295,14
MG_M_RD_07B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	958,64	4785922,44	2277887,52
MG_M_RD_07C	Vegetación secundaria alta	860,40	4789413,39	2278132,85
MG_M_RD_07E	Bosque denso alto	1006,27	4787262,78	2276314,95
MG_M_RD_07H	Tejido urbano discontinuo	828,08	4794498,89	2276797,82
MG_M_RD_08	Pastos arbolados	871,46	4793241,78	2276271,31
MG_M_RD_08B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	948,58	4785907,51	2277915,33
MG_M_RD_08C	Vegetación secundaria alta	857,80	4789418,88	2278152,18
MG_M_RD_08E	Bosque denso alto	1007,01	4787233,34	2276338,28
MG_M_RD_09	Pastos arbolados	814,77	4793130,22	2276576,09
MG_M_RD_09B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	929,11	4785862,33	2278101,8
MG_M_RD_09C	Vegetación secundaria alta	885,65	4788773,7	2277900,76
MG_M_RD_09E	Bosque denso alto	1005,21	4787227,15	2276366,49
MG_M_RD_10	Pastos arbolados	814,57	4793128,38	2276555,76

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_RD_10B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	929,80	4785857,94	2278081,59
MG_M_RD_10C	Vegetación secundaria alta	883,16	4788771,45	2277920,45
MG_M_RD_11	Pastos arbolados	823,49	4793146,75	2276588,75
MG_M_RD_11B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	930,61	4785859,75	2278119,62
MG_M_RD_11C	Vegetación secundaria alta	882,81	4788766,25	2277947,67
MG_M_RD_12	Pastos arbolados	822,51	4793152,33	2276604,09
MG_M_RD_12B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	933,10	4785866,6	2278148,56
MG_M_RD_12C	Vegetación secundaria alta	884,25	4788767,67	2277974,2
MG_M_RD_13	Pastos limpios	857,21	4790912,05	2276770,41
MG_M_RD_13B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	873,55	4786913,55	2279267,65
MG_M_RD_13C	Vegetación secundaria alta	847,63	4792522,12	2277432,2
MG_M_RD_13I	Pastos arbolados	836,71	4794248,91	2275880,17
MG_M_RD_14	Pastos limpios	854,98	4790898,42	2276793,57
MG_M_RD_14B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	883,54	4786938,79	2279247,54
MG_M_RD_14C	Vegetación secundaria alta	843,25	4792537,23	2277422,52
MG_M_RD_14I	Pastos arbolados	835,38	4794248,85	2275901,74
MG_M_RD_15	Pastos limpios	862,75	4790888,01	2276789,19
MG_M_RD_15B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	887,83	4786946,9	2279226,72
MG_M_RD_15C	Vegetación secundaria alta	845,13	4792536,43	2277443,64
MG_M_RD_15I	Pastos arbolados	836,00	4794264,77	2275912,49
MG_M_RD_16	Pastos limpios	867,39	4790873,63	2276787,36
MG_M_RD_16I	Pastos arbolados	820,66	4794320,34	2276091,18
MG_M_RD_17	Pastos limpios	850,27	4791381,6	2276630,57
MG_M_RD_17I	Pastos arbolados	828,92	4794303,31	2276093,88
MG_M_RD_18	Pastos limpios	845,75	4791387,75	2276649,12
MG_M_RD_18I	Pastos arbolados	837,76	4794293,22	2276095,94
MG_M_RD_19	Pastos limpios	840,15	4791373,11	2276666,42
MG_M_RD_20	Pastos limpios	844,99	4791353,88	2276669,7
MG_M_RD_21	Pastos limpios	864,31	4791216,32	2276712,76
MG_M_RD_22	Pastos limpios	865,15	4791212,97	2276704,04
MG_M_RD_23	Pastos limpios	857,78	4791229,59	2276718,44
MG_M_RD_24	Pastos limpios	858,54	4791237,04	2276701,66
MG_M_RD_25	Vegetación secundaria baja	867,23	4789505,31	2277759,14
MG_M_RD_26	Vegetación secundaria baja	864,34	4789499,72	2277771,98
MG_M_RD_27	Vegetación secundaria baja	864,14	4789525,57	2277765,47
MG_M_RD_28	Vegetación secundaria baja	862,55	4789530,89	2277763,07
MG_M_RD_29	Vegetación secundaria baja	872,42	4789634,14	2277553,67
MG_M_RD_30	Vegetación secundaria baja	884,06	4789615,91	2277529,42
MG_M_RD_31	Vegetación secundaria baja	887,65	4789596,01	2277529,71
MG_M_RD_32	Vegetación secundaria baja	884,29	4789603,9	2277542,29
MG_M_RD_33	Vegetación secundaria baja	870,01	4789288,39	2277969,96
MG_M_RD_34	Vegetación secundaria baja	867,53	4789298,02	2277944,38
MG_M_RD_35	Vegetación secundaria baja	865,25	4789295,06	2277924,56
MG_M_RD_36	Vegetación secundaria baja	863,38	4789285,91	2277903,03
MG_M_RD_37	Bosque de galería y/o ripario	839,06	4786625,12	2278550,04
MG_M_RD_37J	Vegetación secundaria baja	1222,65	4791868,08	2274444,25

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_RD_38	Bosque de galería y/o ripario	839,96	4786594,59	2278532,52
MG_M_RD_38J	Vegetación secundaria baja	1223,88	4791866,82	2274435,46
MG_M_RD_39	Bosque de galería y/o ripario	842,17	4786582,39	2278524,38
MG_M_RD_39J	Vegetación secundaria baja	1222,36	4791861,04	2274430,63
MG_M_RD_40	Bosque de galería y/o ripario	839,35	4786590,3	2278510,09
MG_M_RD_41	Bosque de galería y/o ripario	846,43	4786453,08	2278426,59
MG_M_RD_42	Bosque de galería y/o ripario	846,60	4786445,77	2278422,41
MG_M_RD_43	Bosque de galería y/o ripario	846,45	4786443,18	2278411,26
MG_M_RD_44	Bosque de galería y/o ripario	846,98	4786437,73	2278402,54
MG_M_RD_45	Bosque de galería y/o ripario	848,36	4786420,45	2278337,49
MG_M_RD_46	Bosque de galería y/o ripario	848,09	4786418,38	2278315,27
MG_M_RD_47	Bosque de galería y/o ripario	848,07	4786412,47	2278302,58
MG_M_RD_48	Bosque de galería y/o ripario	848,37	4786417,16	2278286,86
MG_M_RD_49	Bosque de galería y/o ripario	816,29	4788481,52	2279234,15
MG_M_RD_50	Bosque de galería y/o ripario	816,23	4788472,97	2279256,51
MG_M_RD_51	Bosque de galería y/o ripario	816,68	4788473,36	2279269,11
MG_M_RD_MC1	Mosaico de cultivos	815,00	4789080,65	2278596,03
MG_M_RD_MC2	Mosaico de cultivos	814,99	4789102,34	2278603,25
MG_M_RD_MC3	Mosaico de cultivos	815,11	4789115,03	2278625,64
MG_M_RD_MC4	Mosaico de cultivos	818,55	4791594,63	2277819,52
MG_M_RD_MC5	Mosaico de cultivos	812,97	4791573,53	2277839,91
MG_M_TS_01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	885,16	4791657,99	2276316,21
MG_M_TS_01B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	893,30	4785924,77	2278091,72
MG_M_TS_01C	Vegetación secundaria alta	848,46	4789816,43	2277597,65
MG_M_TS_01D	Pastos enmalezados	898,62	4788735,22	2277199,06
MG_M_TS_01E	Bosque denso alto	981,01	4794824,48	2275841,72
MG_M_TS_01F	Guadua	821,00	4789864,68	2277871,44
MG_M_TS_01G	Mosaico de cultivos	827,27	4791660,59	2277817,48
MG_M_TS_02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	886,45	4791662,41	2276315,42
MG_M_TS_02B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	886,80	4785929,22	2278098,78
MG_M_TS_02C	Vegetación secundaria alta	846,88	4789819,07	2277596,42
MG_M_TS_02D	Pastos enmalezados	894,37	4788728,92	2277201,96
MG_M_TS_02E	Bosque denso alto	983,51	4794830,77	2275839,37
MG_M_TS_02F	Guadua	821,00	4789866,78	2277872,76
MG_M_TS_02G	Mosaico de cultivos	825,36	4791654,45	2277820,8
MG_M_TS_03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	886,18	4791657,42	2276313,12
MG_M_TS_03B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	889,22	4785919,49	2278097,72
MG_M_TS_03C	Vegetación secundaria alta	845,81	4789821,74	2277598,85
MG_M_TS_03D	Pastos enmalezados	896,43	4788732,8	2277203,72
MG_M_TS_03E	Bosque denso alto	982,69	4794823,8	2275836,96
MG_M_TS_03F	Guadua	821,00	4789866,57	2277874,97
MG_M_TS_03G	Mosaico de cultivos	823,14	4791648,77	2277823,35
MG_M_TS_04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	883,63	4791652,24	2276316,45
MG_M_TS_04B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	887,37	4785923,04	2278101,46
MG_M_TS_04C	Vegetación secundaria alta	851,44	4789810,57	2277597,78
MG_M_TS_04D	Pastos enmalezados	896,76	4788732,46	2277200,62
MG_M_TS_04E	Bosque denso alto	985,30	4794829,76	2275833,63
MG_M_TS_04F	Guadua	821,01	4789869,1	2277873,31

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_04G	Mosaico de cultivos	822,16	4791641,56	2277826,95
MG_M_TS_05	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	887,26	4791659,52	2276311,01
MG_M_TS_05B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	885,69	4785923,94	2278104,77
MG_M_TS_05C	Vegetación secundaria alta	843,70	4789825,95	2277602,04
MG_M_TS_05D	Pastos enmalezados	896,50	4788731,23	2277198,08
MG_M_TS_05E	Bosque denso alto	984,39	4794824,22	2275832,32
MG_M_TS_05F	Guadua	821,00	4789859,82	2277873,44
MG_M_TS_05G	Mosaico de cultivos	824,63	4791632,68	2277832,52
MG_M_TS_06	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	909,61	4791689,41	2276261,37
MG_M_TS_06B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	882,70	4785940,84	2278098,96
MG_M_TS_06C	Vegetación secundaria alta	840,48	4789834,12	2277596,92
MG_M_TS_06D	Pastos enmalezados	896,76	4788778,03	2277203,54
MG_M_TS_06E	Bosque denso alto	986,64	4794834,01	2275817,69
MG_M_TS_06F	Guadua	821,00	4789846,33	2277875,38
MG_M_TS_06G	Mosaico de cultivos	824,71	4791624,43	2277838,42
MG_M_TS_07	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	906,40	4791679,25	2276264,17
MG_M_TS_07B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	881,84	4785939,53	2278105,71
MG_M_TS_07C	Vegetación secundaria alta	840,93	4789831,03	2277598,7
MG_M_TS_07D	Pastos enmalezados	897,02	4788774,93	2277201,79
MG_M_TS_07E	Bosque denso alto	985,79	4794830,03	2275816,05
MG_M_TS_07F	Guadua	821,00	4789850,32	2277877,46
MG_M_TS_07G	Mosaico de cultivos	822,13	4791617,36	2277840,31
MG_M_TS_08	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	910,25	4791689,73	2276257,39
MG_M_TS_08B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	883,10	4785928,38	2278109,84
MG_M_TS_08C	Vegetación secundaria alta	842,02	4789829,27	2277603,46
MG_M_TS_08D	Pastos enmalezados	898,78	4788775,25	2277199,24
MG_M_TS_08E	Bosque denso alto	985,17	4794828,16	2275820,47
MG_M_TS_08F	Guadua	821,00	4789844	2277873,29
MG_M_TS_08G	Mosaico de cultivos	820,48	4791611,74	2277841,13
MG_M_TS_09	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	908,88	4791684,2	2276257,3
MG_M_TS_09B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	881,41	4785936,9	2278110,58
MG_M_TS_09C	Vegetación secundaria alta	840,71	4789830,35	2277594,94
MG_M_TS_09D	Pastos enmalezados	898,71	4788772,15	2277198,7
MG_M_TS_09E	Bosque denso alto	987,75	4794839,51	2275810,04
MG_M_TS_09F	Guadua	821,03	4789841,02	2277873,08
MG_M_TS_09G	Mosaico de cultivos	818,99	4791605,59	2277842,31
MG_M_TS_10	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	907,11	4791680,98	2276253,33
MG_M_TS_100	Vegetación secundaria baja	867,96	4789513,67	2277748,05
MG_M_TS_101	Bosque de galería y/o ripario	853,15	4786491,38	2278436,5
MG_M_TS_102	Bosque de galería y/o ripario	848,03	4786483,06	2278429,02
MG_M_TS_103	Bosque de galería y/o ripario	847,14	4786486,81	2278428,01
MG_M_TS_104	Bosque de galería y/o ripario	847,85	4786493,9	2278430,08
MG_M_TS_105	Bosque de galería y/o ripario	849,51	4786487,6	2278431,98
MG_M_TS_106	Bosque de galería y/o ripario	845,90	4786487,56	2278420,6
MG_M_TS_107	Bosque de galería y/o ripario	845,94	4786485,32	2278412,98
MG_M_TS_108	Bosque de galería y/o ripario	847,84	4786489,59	2278429,65
MG_M_TS_109	Bosque de galería y/o ripario	846,00	4786489,01	2278423,24

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_10B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	888,21	4785955,52	2278092,93
MG_M_TS_10C	Vegetación secundaria alta	841,56	4789828,14	2277596,72
MG_M_TS_10D	Pastos enmalezados	900,01	4788771,48	2277196,27
MG_M_TS_10E	Bosque denso alto	987,78	4794837,99	2275816,13
MG_M_TS_10F	Guadua	821,00	4789851,63	2277872,48
MG_M_TS_10G	Mosaico de cultivos	816,36	4791598,93	2277842,76
MG_M_TS_11	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	901,78	4791670,72	2276260,99
MG_M_TS_110	Bosque de galería y/o ripario	845,94	4786485,24	2278419,94
MG_M_TS_111	Bosque de galería y/o ripario	845,99	4786494,85	2278418,8
MG_M_TS_112	Bosque de galería y/o ripario	846,04	4786506,7	2278423,73
MG_M_TS_113	Bosque de galería y/o ripario	846,01	4786502,49	2278420,54
MG_M_TS_114	Bosque de galería y/o ripario	846,27	4786505,91	2278419,31
MG_M_TS_115	Bosque de galería y/o ripario	846,00	4786500,73	2278424,64
MG_M_TS_116	Bosque de galería y/o ripario	846,35	4786508,95	2278432,34
MG_M_TS_117	Bosque de galería y/o ripario	846,39	4786504,4	2278429,49
MG_M_TS_118	Bosque de galería y/o ripario	847,20	4786508,4	2278434,56
MG_M_TS_119	Bosque de galería y/o ripario	847,38	4786504,3	2278431,92
MG_M_TS_11B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	887,31	4785917,66	2278110,88
MG_M_TS_11C	Vegetación secundaria alta	842,29	4789825,14	2277593,2
MG_M_TS_11D	Pastos enmalezados	898,18	4788785,23	2277206,5
MG_M_TS_11E	Bosque denso alto	980,61	4794809,16	2275824,63
MG_M_TS_11F	Guadua	820,97	4789797,69	2277847,81
MG_M_TS_11G	Mosaico de cultivos	814,05	4791589,75	2277844,6
MG_M_TS_12	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	886,71	4791661,96	2276314,43
MG_M_TS_120	Bosque de galería y/o ripario	846,44	4786498,76	2278428,07
MG_M_TS_121	Bosque de galería y/o ripario	846,15	4786512,91	2278426,47
MG_M_TS_122	Bosque de galería y/o ripario	850,51	4786528,28	2278428,29
MG_M_TS_123	Bosque de galería y/o ripario	846,09	4786518,8	2278434,3
MG_M_TS_124	Bosque de galería y/o ripario	847,97	4786522,76	2278430,08
MG_M_TS_125	Bosque de galería y/o ripario	848,34	4786518,65	2278425,56
MG_M_TS_12B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	887,54	4785922,1	2278116,39
MG_M_TS_12C	Vegetación secundaria alta	843,53	4789822,93	2277592,87
MG_M_TS_12D	Pastos enmalezados	898,93	4788786,11	2277204,84
MG_M_TS_12E	Bosque denso alto	981,84	4794814,56	2275821,08
MG_M_TS_12F	Guadua	821,00	4789803,43	2277848,45
MG_M_TS_12G	Mosaico de cultivos	813,49	4791583,33	2277847,66
MG_M_TS_13	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	906,30	4791678,79	2276260,19
MG_M_TS_13B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	890,21	4785923,23	2278121,91
MG_M_TS_13C	Vegetación secundaria alta	840,92	4789827,79	2277589,98
MG_M_TS_13D	Pastos enmalezados	899,39	4788786,65	2277202,3
MG_M_TS_13E	Bosque denso alto	979,12	4794807,35	2275814,58
MG_M_TS_13F	Guadua	820,97	4789797,56	2277844,94
MG_M_TS_13G	Mosaico de cultivos	813,19	4791576,05	2277852,56
MG_M_TS_14	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	902,51	4791670,75	2276268,29
MG_M_TS_14B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	886,97	4785915,86	2278103,37
MG_M_TS_14C	Vegetación secundaria alta	840,67	4789827,77	2277586,22
MG_M_TS_14D	Pastos enmalezados	899,26	4788788,87	2277204,5

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_14E	Bosque denso alto	976,86	4794805,34	2275809,95
MG_M_TS_14F	Guadua	821,01	4789805,09	2277847,79
MG_M_TS_14G	Mosaico de cultivos	814,60	4791572,22	2277862,18
MG_M_TS_15	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	902,42	4791670,85	2276265,31
MG_M_TS_15B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	888,91	4785918,34	2278114,75
MG_M_TS_15C	Vegetación secundaria alta	840,21	4789830,18	2277580,24
MG_M_TS_15D	Pastos enmalezados	899,04	4788789,76	2277207,15
MG_M_TS_15E	Bosque denso alto	980,20	4794808,91	2275818
MG_M_TS_15F	Guadua	820,99	4789799,98	2277842,49
MG_M_TS_15G	Mosaico de cultivos	813,00	4791560,48	2277865,72
MG_M_TS_16	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	903,81	4791673,74	2276271,27
MG_M_TS_16B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	883,93	4785938,26	2278120,31
MG_M_TS_16C	Vegetación secundaria alta	847,73	4789814,63	2277590,8
MG_M_TS_16D	Pastos enmalezados	899,44	4788766,39	2277197,51
MG_M_TS_16E	Bosque denso alto	979,13	4794807,09	2275835,69
MG_M_TS_16F	Guadua	822,40	4789796,78	2277815,31
MG_M_TS_16G	Mosaico de cultivos	811,34	4791509,64	2277895,51
MG_M_TS_17	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	900,30	4791666,34	2276271,51
MG_M_TS_17B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	884,11	4785927,97	2278117,36
MG_M_TS_17C	Vegetación secundaria alta	845,77	4789813,95	2277585,17
MG_M_TS_17D	Pastos enmalezados	900,00	4788762,41	2277197,85
MG_M_TS_17E	Bosque denso alto	980,54	4794815,06	2275837,22
MG_M_TS_17F	Guadua	822,23	4789792,02	2277813,33
MG_M_TS_17G	Mosaico de cultivos	811,48	4791506,03	2277899,76
MG_M_TS_18	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	904,46	4791676,88	2276252,02
MG_M_TS_18B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	885,19	4785932,19	2278121,77
MG_M_TS_18C	Vegetación secundaria alta	849,75	4789803,78	2277586,31
MG_M_TS_18D	Pastos enmalezados	901,03	4788757,67	2277199,64
MG_M_TS_18E	Bosque denso alto	978,96	4794810,42	2275838,78
MG_M_TS_18F	Guadua	822,55	4789792,12	2277810,02
MG_M_TS_18G	Mosaico de cultivos	811,50	4791504,73	2277897,06
MG_M_TS_19	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	902,30	4791674,44	2276249,48
MG_M_TS_19B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	882,66	4785932,83	2278116,02
MG_M_TS_19C	Vegetación secundaria alta	842,60	4789814,03	2277579,42
MG_M_TS_19D	Pastos enmalezados	901,72	4788756	2277198,1
MG_M_TS_19E	Bosque denso alto	980,09	4794810,74	2275834,8
MG_M_TS_19F	Guadua	823,65	4789796,22	2277809,68
MG_M_TS_19G	Mosaico de cultivos	811,66	4791500,65	2277896,83
MG_M_TS_20	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	901,51	4791671,04	2276257,46
MG_M_TS_20B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	881,44	4785938,36	2278115,55
MG_M_TS_20C	Vegetación secundaria alta	845,66	4789807,63	2277580,99
MG_M_TS_20D	Pastos enmalezados	901,97	4788746,38	2277197,92
MG_M_TS_20E	Bosque denso alto	977,91	4794802,34	2275836,04
MG_M_TS_20F	Guadua	822,74	4789795,67	2277813,11
MG_M_TS_20G	Mosaico de cultivos	811,87	4791492,3	2277899,16
MG_M_TS_21	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	899,69	4791670,13	2276250,27

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_21B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	893,50	4785916,25	2278118,85
MG_M_TS_21C	Vegetación secundaria alta	849,67	4789797,69	2277584,01
MG_M_TS_21D	Pastos enmalezados	899,57	4788724,51	2277174,89
MG_M_TS_21E	Bosque denso alto	977,52	4794787,03	2275821,84
MG_M_TS_21F	Guadua	821,58	4789779,19	2277811,51
MG_M_TS_21G	Mosaico de cultivos	812,42	4791497,7	2277884
MG_M_TS_22	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	898,64	4791667,92	2276251,39
MG_M_TS_22B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	893,73	4785912,71	2278117,2
MG_M_TS_22C	Vegetación secundaria alta	849,89	4789792,27	2277584,03
MG_M_TS_22D	Pastos enmalezados	899,28	4788722,18	2277172,14
MG_M_TS_22E	Bosque denso alto	974,99	4794784,31	2275835,89
MG_M_TS_22F	Guadua	821,78	4789776,78	2277816,27
MG_M_TS_22G	Mosaico de cultivos	812,53	4791495,42	2277884,91
MG_M_TS_23	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	903,40	4791674,24	2276256,78
MG_M_TS_23B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	894,16	4785907,16	2278111,69
MG_M_TS_23C	Vegetación secundaria alta	850,93	4789793,05	2277586,13
MG_M_TS_23D	Pastos enmalezados	898,62	4788718,18	2277168,83
MG_M_TS_23E	Bosque denso alto	977,87	4794790,78	2275821,49
MG_M_TS_23F	Guadua	821,55	4789780,97	2277813,6
MG_M_TS_23G	Mosaico de cultivos	812,53	4791495,42	2277884,91
MG_M_TS_24	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	896,76	4791666,58	2276247,3
MG_M_TS_24B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	896,55	4785911,62	2278121,41
MG_M_TS_24C	Vegetación secundaria alta	851,77	4789789,85	2277587,8
MG_M_TS_24D	Pastos enmalezados	897,78	4788715,08	2277167,85
MG_M_TS_24E	Bosque denso alto	976,55	4794782,97	2275830,92
MG_M_TS_24F	Guadua	821,62	4789777,3	2277808,42
MG_M_TS_24G	Mosaico de cultivos	813,01	4791488,7	2277888,64
MG_M_TS_25	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	897,69	4791665,71	2276252,72
MG_M_TS_25B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	897,58	4785906,19	2278119,11
MG_M_TS_25C	Vegetación secundaria alta	850,10	4789788,29	2277584,6
MG_M_TS_25D	Pastos enmalezados	896,82	4788711,65	2277166,09
MG_M_TS_25E	Bosque denso alto	973,83	4794787,21	2275838,97
MG_M_TS_25F	Guadua	821,90	4789779,5	2277805,75
MG_M_TS_25G	Mosaico de cultivos	812,58	4791485,35	2277891,33
MG_M_TS_26	Pastos arbolados	832,96	4793212,53	2276594,65
MG_M_TS_27	Pastos arbolados	830,49	4793215,43	2276599,61
MG_M_TS_28	Pastos arbolados	829,29	4793220,08	2276601,92
MG_M_TS_29	Pastos arbolados	832,87	4793220,61	2276596,06
MG_M_TS_30	Pastos arbolados	835,59	4793226,35	2276592,17
MG_M_TS_31	Pastos arbolados	837,54	4793230,76	2276590,16
MG_M_TS_32	Pastos arbolados	837,95	4793237,51	2276591,46
MG_M_TS_33	Pastos arbolados	835,64	4793245,94	2276597,84
MG_M_TS_34	Pastos arbolados	836,40	4793252,58	2276598,48
MG_M_TS_35	Pastos arbolados	834,92	4793260,11	2276602,65
MG_M_TS_36	Pastos arbolados	834,19	4793266,09	2276604,73
MG_M_TS_37	Pastos arbolados	832,60	4793261,34	2276606,85
MG_M_TS_38	Pastos arbolados	830,83	4793263,35	2276610,27

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_39	Pastos arbolados	828,91	4793267,67	2276613,9
MG_M_TS_40	Pastos arbolados	829,04	4793263,36	2276613,15
MG_M_TS_41	Pastos arbolados	825,45	4793264,04	2276619
MG_M_TS_42	Pastos arbolados	827,44	4793256,39	2276613,61
MG_M_TS_43	Pastos arbolados	825,63	4793247,66	2276615,08
MG_M_TS_44	Pastos arbolados	827,76	4793245,1	2276610,01
MG_M_TS_45	Pastos arbolados	829,22	4793243,1	2276607,03
MG_M_TS_46	Pastos arbolados	827,12	4793237,91	2276609,81
MG_M_TS_47	Pastos arbolados	828,26	4793234,58	2276606,73
MG_M_TS_48	Pastos arbolados	826,40	4793228,17	2276607,42
MG_M_TS_49	Pastos arbolados	826,53	4793222,86	2276606,22
MG_M_TS_50	Pastos arbolados	826,70	4793217,44	2276606,02
MG_M_TS_51	Pastos limpios	873,18	4790753,03	2276798,54
MG_M_TS_52	Pastos limpios	875,01	4790751,14	2276795,89
MG_M_TS_53	Pastos limpios	875,48	4790748,15	2276796,23
MG_M_TS_54	Pastos limpios	874,15	4790744,95	2276798,79
MG_M_TS_55	Pastos limpios	874,66	4790738,54	2276799,81
MG_M_TS_56	Pastos limpios	880,31	4790728,79	2276793,1
MG_M_TS_57	Pastos limpios	882,06	4790726,12	2276789,13
MG_M_TS_58	Pastos limpios	880,56	4790721,47	2276788,71
MG_M_TS_59	Pastos limpios	879,30	4790716,61	2276788,72
MG_M_TS_60	Pastos limpios	881,34	4790712,17	2276784,98
MG_M_TS_61	Pastos limpios	885,86	4790689,06	2276785,18
MG_M_TS_62	Pastos limpios	884,85	4790698,55	2276780,83
MG_M_TS_63	Pastos limpios	882,04	4790700,34	2276784,58
MG_M_TS_64	Pastos limpios	879,33	4790705,77	2276787,55
MG_M_TS_65	Pastos limpios	876,80	4790700,04	2276793,21
MG_M_TS_66	Pastos limpios	878,47	4790694,95	2276794,22
MG_M_TS_67	Pastos limpios	878,22	4790693,42	2276797,55
MG_M_TS_68	Pastos limpios	874,68	4790699,5	2276797,3
MG_M_TS_69	Pastos limpios	872,99	4790698,86	2276802,39
MG_M_TS_70	Pastos limpios	872,70	4790692,36	2276810,6
MG_M_TS_71	Pastos limpios	873,79	4790686,95	2276813,38
MG_M_TS_72	Pastos limpios	874,81	4790682,99	2276816,82
MG_M_TS_73	Pastos limpios	875,76	4790678,46	2276819,38
MG_M_TS_74	Pastos limpios	876,08	4790674,59	2276819,73
MG_M_TS_75	Pastos limpios	871,31	4790676,05	2276825,8
MG_M_TS_76	Vegetación secundaria baja	847,04	4789553,75	2277790,91
MG_M_TS_77	Vegetación secundaria baja	849,97	4789545,46	2277789,72
MG_M_TS_78	Vegetación secundaria baja	848,57	4789546,35	2277791,93
MG_M_TS_79	Vegetación secundaria baja	847,07	4789544,82	2277796,03
MG_M_TS_80	Vegetación secundaria baja	848,23	4789543,92	2277794,37
MG_M_TS_81	Vegetación secundaria baja	860,78	4789490,54	2277770,91
MG_M_TS_82	Vegetación secundaria baja	858,28	4789485,78	2277770,05
MG_M_TS_83	Vegetación secundaria baja	860,06	4789493,45	2277782,18
MG_M_TS_84	Vegetación secundaria baja	858,45	4789489,25	2277780,54
MG_M_TS_85	Vegetación secundaria baja	857,58	4789487,14	2277779
MG_M_TS_86	Vegetación secundaria baja	875,90	4789477,14	2277708,38
MG_M_TS_87	Vegetación secundaria baja	872,45	4789473,4	2277713,15
MG_M_TS_88	Vegetación secundaria baja	873,08	4789479,61	2277716,67
MG_M_TS_89	Vegetación secundaria baja	871,67	4789480,4	2277720,64
MG_M_TS_90	Vegetación secundaria baja	869,83	4789475,64	2277720,44

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TS_91	Vegetación secundaria baja	872,03	4789495,8	2277730,65
MG_M_TS_92	Vegetación secundaria baja	871,44	4789500,24	2277733,73
MG_M_TS_93	Vegetación secundaria baja	870,74	4789496,06	2277739,38
MG_M_TS_94	Vegetación secundaria baja	869,17	4789491,09	2277741,72
MG_M_TS_95	Vegetación secundaria baja	873,33	4789493,68	2277725,13
MG_M_TS_96	Vegetación secundaria baja	868,38	4789509,48	2277749,5
MG_M_TS_97	Vegetación secundaria baja	867,80	4789512,48	2277754,02
MG_M_TS_98	Vegetación secundaria baja	867,69	4789514,24	2277751,81
MG_M_TS_99	Vegetación secundaria baja	866,95	4789518,01	2277754,33
MG_M_TT_01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	866,91	4791685,41	2276346,07
MG_M_TT_01B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	883,20	4785930,35	2278104,64
MG_M_TT_01C	Vegetación secundaria alta	845,97	4789821,33	2277606,78
MG_M_TT_01D	Pastos enmalezados	901,31	4788748,2	2277210,62
MG_M_TT_01E	Bosque denso alto	985,31	4794833,2	2275836,37
MG_M_TT_01F	Guadua	821,71	4789775,1	2277812,41
MG_M_TT_01G	Mosaico de cultivos	812,45	4791483,63	2277892,59
MG_M_TT_02	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	909,09	4791688,75	2276263,58
MG_M_TT_02B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	886,27	4785921,07	2278107
MG_M_TT_02C	Vegetación secundaria alta	850,17	4789814,13	2277603,05
MG_M_TT_02D	Pastos enmalezados	902,03	4788752,26	2277201,65
MG_M_TT_02E	Bosque denso alto	986,41	4794829,11	2275808,64
MG_M_TT_02F	Guadua	821,58	4789784,06	2277813,25
MG_M_TT_02G	Mosaico de cultivos	817,41	4791497,97	2277870,13
MG_M_TT_03	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	901,80	4791672,13	2276254,47
MG_M_TT_03B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	897,62	4785934,79	2278079,75
MG_M_TT_03C	Vegetación secundaria alta	842,10	4789820,91	2277584,81
MG_M_TT_03D	Pastos enmalezados	901,91	4788744,25	2277189,08
MG_M_TT_03E	Bosque denso alto	970,26	4794797,36	2275804,66
MG_M_TT_03F	Guadua	821,06	4789802,26	2277830,55
MG_M_TT_03G	Mosaico de cultivos	817,09	4791494,94	2277873,5
MG_M_TT_04	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	900,69	4791673,1	2276246,83
MG_M_TT_04B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	900,24	4785901,66	2278119,68
MG_M_TT_04C	Vegetación secundaria alta	846,32	4789821,21	2277604,49
MG_M_TT_04D	Pastos enmalezados	896,44	4788726,33	2277189,37
MG_M_TT_04E	Bosque denso alto	975,71	4794810,11	2275845,52
MG_M_TT_04F	Guadua	821,05	4789819,35	2277845,52
MG_M_TT_04G	Mosaico de cultivos	820,20	4791489,07	2277871,74
MG_M_TT_05	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	908,59	4791684,1	2276260,06
MG_M_TT_05B	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	900,90	4785900,8	2278125,54
MG_M_TT_05C	Vegetación secundaria alta	849,03	4789810,42	2277589,27
MG_M_TT_05D	Pastos enmalezados	896,95	4788707,42	2277160,25
MG_M_TT_05E	Bosque denso alto	977,17	4794784,81	2275819,19
MG_M_TT_05F	Guadua	821,09	4789839,35	2277869,55
MG_M_TT_05G	Mosaico de cultivos	819,96	4791493,32	2277868,97
MG_M_TT_06	Pastos arbolados	831,36	4793194,44	2276597,97
MG_M_TT_07	Pastos arbolados	840,07	4793246,36	2276590,21
MG_M_TT_08	Pastos arbolados	836,27	4793269,39	2276600,3

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
MG_M_TT_09	Pastos arbolados	826,30	4793257,18	2276615,82
MG_M_TT_10	Pastos arbolados	826,47	4793253,85	2276614,4
MG_M_TT_11	Pastos limpios	878,03	4790748,14	2276792,37
MG_M_TT_12	Pastos limpios	879,40	4790733,33	2276794,96
MG_M_TT_13	Pastos limpios	892,30	4790704,37	2276768,87
MG_M_TT_14	Pastos limpios	889,12	4790689,59	2276779,54
MG_M_TT_15	Pastos limpios	876,45	4790694,1	2276801,85
MG_M_TT_16	Vegetación secundaria baja	835,07	4789521,93	2277825,85
MG_M_TT_17	Vegetación secundaria baja	857,77	4789510,08	2277793,72
MG_M_TT_18	Vegetación secundaria baja	859,42	4789477,75	2277752,61
MG_M_TT_19	Vegetación secundaria baja	871,54	4789469,42	2277712,39
MG_M_TT_20	Vegetación secundaria baja	871,08	4789464,99	2277710,86
MG_M_TT_21	Bosque de galería y/o ripario	847,80	4786514,43	2278421,38
MG_M_TT_22	Bosque de galería y/o ripario	846,96	4786499,04	2278414,47
MG_M_TT_23	Bosque de galería y/o ripario	846,40	4786491,84	2278412,07
MG_M_TT_24	Bosque de galería y/o ripario	846,68	4786468,76	2278421,33
MG_M_TT_25	Bosque de galería y/o ripario	846,94	4786473,49	2278413,35
PA-BD-01	Bosque denso alto	1415,08	4782016,05	2277898,11
PA-BD-02	Bosque denso alto	1431,55	4781736,87	2278080,3
PA-BD-03	Bosque denso alto	1446,89	4781283,9	2278186,78
PA-BD-04	Bosque denso alto	1254,72	4781929,24	2277247,1
PA-BD-05	Bosque denso alto	1263,32	4782832,76	2277344,09
PA-BD-06	Bosque denso alto	1226,69	4783032,23	2277223,57
PA-BD-07	Bosque denso alto	1210,92	4783155,47	2277064,98
PA-BD-08	Bosque denso alto	1121,42	4783324,42	2276658,33
PA-BD-09	Bosque denso alto	1161,77	4782788,31	2276746,21
PA-BD-10	Bosque denso alto	1104,46	4784162,55	2276488,69
PA-BD-11	Bosque denso alto	1219,85	4783996,81	2277440,41
PA-BF-01	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1397,36	4781363,82	2278404,73
PA-BF-02	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1287,42	4782710,29	2277584,71
PA-BF-03	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1185,56	4783195,07	2276897,1
PA-BF-04	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1158,74	4783262,43	2276785,17
PA-BF-05	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1196,50	4783734,39	2277409,47
PA-BF-06	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1227,61	4784424,29	2277198,59
PA-BF-07	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1167,29	4784828,11	2277021,26
PA-BF-08	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1112,55	4784888,35	2276583,63
PA-BGR-01	Bosque de galería y/o ripario	947,09	4793603,58	2275335,97
PA-BGR-02	Bosque de galería y/o ripario	1043,00	4791419,52	2274994,8
PA-BGR-03	Bosque de galería y/o ripario	926,26	4790459,31	2276058,22
PA-BGR-04	Bosque de galería y/o ripario	945,95	4790491,21	2275953,95
PA-BGR-05	Bosque de galería y/o ripario	930,62	4790046,98	2276360,93
PA-BGR-06	Bosque de galería y/o ripario	1147,04	4781551,56	2277238,4
PA-BGR-07	Bosque de galería y/o ripario	1028,26	4783508,89	2276544,8
PA-BGR-08	Bosque de galería y/o ripario	1040,47	4782978,6	2276380,64

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
PA-BGR-09	Bosque de galería y/o ripario	987,44	4783692,94	2276299,78
PA-CAÑA-01	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	1070,80	4790964,71	2274734,35
PA-MC-01	Mosaico de cultivos	833,60	4791619,65	2277897,15
PA-MC-02	Mosaico de cultivos	813,41	4791245,37	2277943,03
PA-PA-01	Pastos arbolados	852,87	4794230,39	2275977,89
PA-PA-02	Pastos arbolados	1014,67	4789783,08	2276021,95
PA-PA-03	Pastos arbolados	1411,30	4781897,59	2277949,21
PA-PA-04	Pastos arbolados	1124,32	4784212,56	2276609,45
PA-PA-05	Pastos arbolados	1146,18	4784007,41	2276951,34
PA-PA-06	Pastos arbolados	1177,19	4784618,1	2277175,83
PA-PE-01	Pastos enmalezados	812,07	4791992,92	2277974,8
PA-PE-02	Pastos enmalezados	975,49	4791691,86	2275552,89
PA-PE-03	Pastos enmalezados	1148,87	4784857,5	2276773,59
PA-PL-01	Pastos limpios	984,53	4793582,61	2275407,69
PA-PL-02	Pastos limpios	946,18	4791980,16	2275883,94
PA-PL-03	Pastos limpios	1022,37	4790348,64	2276386,55
PA-PL-04	Pastos limpios	1129,47	4782849,06	2276786
PA-PL-05	Pastos limpios	1150,00	4784142,12	2276812,83
PA-PL-06	Pastos limpios	981,93	4787675,79	2275813,97
PA-PL-07	Pastos limpios	972,43	4787284,61	2275802,19
PA-PL-08	Pastos limpios	1130,87	4788128,23	2275776,15
PA-TUD-01	Tejido urbano discontinuo	995,34	4787259,94	2275677,71
PA-TUD-02	Tejido urbano discontinuo	1026,98	4787466,9	2275663,22
PAV123	Pastos limpios	964,56	4787538,91	2276322,13
PA-VSA-01	Vegetación secundaria alta	1064,65	4793272,24	2275505,91
PA-VSA-02	Vegetación secundaria alta	1084,90	4791709,94	2275062,93
PA-VSA-03	Vegetación secundaria alta	1041,68	4789705,79	2276025,33
PA-VSA-04	Vegetación secundaria alta	1225,33	4781545,06	2277470,4
PA-VSA-05	Vegetación secundaria alta	1340,96	4781908,68	2277730,69
PA-VSA-06	Vegetación secundaria alta	1148,61	4781586,07	2277100,61
PA-VSA-07	Vegetación secundaria alta	1219,74	4783151,87	2277761,67
PA-VSB-01	Vegetación secundaria baja	1028,69	4793305,03	2275441,66
PA-VSB-02	Vegetación secundaria baja	1148,71	4791868,13	2274928,23
PA-VSB-03	Vegetación secundaria baja	960,88	4789912,73	2276269,67
PA-VSB-04	Vegetación secundaria baja	1198,56	4781907,46	2277162,69
PA-VSB-05	Vegetación secundaria baja	1354,08	4782414,09	2277770,62
PA-VSB-06	Vegetación secundaria baja	867,17	4790546,38	2277692,09
PA-VSB-07	Vegetación secundaria baja	1008,67	4784172,88	2276301,57
PA-VSB-08	Vegetación secundaria baja	1139,46	4783944,91	2276628,95
PLAV01	Pastos limpios	881,40	4786020,93	2279412,55
RA-BGR-01	Bosque de galería y/o ripario	813,23	4794503,47	2276384,74
RA-MC-02	Mosaico de cultivos	812,63	4791624,99	2277938,01
RA-MC-03	Mosaico de cultivos	812,35	4791602,53	2277934,44
RA-PA-01	Pastos arbolados	835,11	4794462,12	2276085,17
RA-PA-02	Pastos arbolados	834,67	4794469,6	2276076,29
RA-VSA-02	Vegetación secundaria alta	1044,38	4791569,32	2275132,33
String	String	Double	Double	Double
TAB09	Vegetación secundaria baja	861,69	4791032,66	2278028,22
TABBGR01	Bosque de galería y/o ripario	864,78	4785547,47	2278756,11
TAV01	Tejido urbano discontinuo	820,89	4788790,1	2278242,88
TAV02	Tejido urbano discontinuo	817,04	4788885,4	2278356,41
TAV03	Tejido urbano continuo	821,99	4789019,24	2278466,71

ID_MUES_PT	N_COBERT	COTA	COOR_ESTE	COOR_NORTE
TAV04	Tejido urbano continuo	819,66	4789210,45	2278483,31
TAV05	Tejido urbano continuo	818,69	4789572,62	2278528,83
TAV07	Tejido urbano discontinuo	854,42	4790759,32	2277867,77
TAV08	Cultivos permanentes herbáceos - Caña	865,31	4790555,9	2277793,48
TAV10	Tejido urbano discontinuo	828,78	4790971,8	2277914,8
TAVBD100	Bosque denso alto	971,18	4794612,18	2275646,89
TAVBD11	Bosque denso alto	947,03	4783263,41	2279233,34
TAVBG03	Bosque de galería y/o ripario	816,71	4788382,58	2279368,77
TAVBG04	Bosque de galería y/o ripario	815,06	4788482,66	2279220,22
TAVBG09	Bosque de galería y/o ripario	815,58	4788721,66	2278473,48
TAVBG10	Bosque de galería y/o ripario	816,03	4788853,28	2278470,53
TAVGUAD01	Guadua	819,77	4789894,48	2277955,99
TAVGUAD02	Guadua	822,02	4789747,64	2277810,47
TAVGUAD03	Guadua	825,02	4789540,07	2277861,27
TAVPastos01	Pastos enmalezados	920,73	4783231,21	2278959,18
TAVVSA01	Vegetación secundaria alta	851,94	4793779,15	2277293,83
TAVVSA100	Vegetación secundaria alta	869,96	4792611,45	2277417,06
TAVVSA101	Vegetación secundaria alta	852,17	4793247,74	2277398,29
TAVVSA102	Vegetación secundaria alta	823,94	4789808,3	2278137,37
TBDAV04	Bosque denso alto	974,75	4787191,44	2276323,13
TBDAV05	Bosque denso alto	1015,65	4783563,8	2278888,01
TVSAAV002	Vegetación secundaria alta	837,25	4792568,68	2277700,62
VS7	Vegetación secundaria alta	856,81	4793975	2275776
VSA21	Vegetación secundaria baja	842,10	4793701	2277178
VSB10	Vegetación secundaria baja	1002,73	4783418	2278686
VSB12	Vegetación secundaria baja	935,65	4785022	2279480
VSB16	Vegetación secundaria baja	1150,43	4791927	2274994
VSB17	Vegetación secundaria baja	834,78	4792473	2277717
VSB18	Vegetación secundaria alta	861,73	4792690	2277490
VSB20	Vegetación secundaria baja	862,17	4793399	2277457

Fuente: Integral S.A, 2026

Tabla 2.141 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna

ID_MUES_TR	N_COBERT	NOMENCLATURA	COTA_MIN	COTA_MAX	LONGITUD_M
T-ZIC-03	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	861,65	865,03	118,46
T-IR-01	Instalaciones recreativas	142	814,51	816,20	155,43
T-ZEM-02	Zonas de extracción minera y escombreras	13	851,51	882,43	269,53
T-ZEM-01	Zonas de extracción minera y escombreras	131	883,72	930,98	463,64
T-ZIC-02	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,99	832,60	389,48
T-ZIC-01	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,45	851,83	318,20

Fuente: Integral S.A, 2026

c. Herpetofauna (Anfibios y Reptiles)

Para el registro de herpetofauna, se aplican las siguientes técnicas de muestreo teniendo en cuenta que estos grupos de animales, al compartir muchas características ecológicas se pueden muestrear con las mismas técnicas:

I. Métodos indirectos y de captura

i. Búsqueda libre y captura (Relevamiento por encuentros visuales)

Para la herpetofauna, se utiliza la técnica de Búsqueda libre y captura (Relevamiento por encuentros visuales). El método consiste en la búsqueda y observación directa de especies de anfibios y reptiles en las diferentes coberturas vegetales, en diversos microhábitats como hojas, troncos, árboles, arbustos, orillas de ríos y quebradas, charcas temporales, hojarasca, troncos caídos o bajo piedras. El objetivo de esta técnica es registrar el mayor número posible de especies. Su eficiencia y comparabilidad se fortalecen si el muestreo se realiza durante el período del año en que la herpetofauna es más activa por las condiciones de clima presentes (lluvias y alta humedad) (Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., & La Marca, E. , 2006) (Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Foster, M. S., &, Hedges, S. B., 1994).

La búsqueda libre se llevó a cabo en muestreos tanto diurnos como nocturnos, (mientras el clima lo permita) haciendo una buena inspección visual en todos los posibles microhábitats disponibles para este tipo de organismos.

El registro de las especies se realizó por medio de captura, observación y detección auditiva de los individuos. Las capturas temporales y/o definitivas se realizaron de manera manual: La captura temporal de anfibios, lagartijas, tortugas y serpientes no venenosas, se realizó de forma manual, con guantes de látex o nitrilo para evitar contaminar la piel de los animales con elementos químicos que se encuentran en los jabones, las cremas y otros productos de higiene personal. Los individuos fueron introducidos en bolsas plásticas de cierre hermético (para los anfibios) y en bolsas de tela humedecidos (para los reptiles y las tortugas) para su posterior identificación y registro fotográfico. A cada una de las bolsas se le introdujo en su interior material orgánico como hojas verdes y hojarasca húmeda, palos, tierra o cualquier sustrato en donde se encontraba el animal, con el fin de mantener un microclima adecuado para los individuos. En el caso de las serpientes venenosas no se realizaron capturas, con el fin de prevenir accidentes ofídicos. La identificación de los individuos se realizó a partir de registro fotográficos.

A los individuos capturados se les manipuló de forma cuidadosa y se tomó registro fotográfico, y algunos datos cuando fue posible, tales como: conteos de escamas, longitud del cuerpo, estado reproductivo (si es posible) y sexo. Una vez tomados estos datos los individuos capturados fueron liberados de inmediato en la misma área de captura; y no se requirió la colecta definitiva de ningún individuo.

II. Esfuerzo de muestreo

Para el análisis de esfuerzo de muestreo se preparó una matriz relacionando los días implementados en la búsqueda activa en relación con la cantidad de individuos observados por cada cobertura evaluada, con ello se calculó el éxito de muestreo en términos de individuos/horas-hombre.

Tanto para anfibios como para reptiles se realizaron un total de 62 días de muestreo distribuidos en las diferentes coberturas presentes en el área de influencia del proyecto. En

todos los eventos de muestreo se efectuaba un recorrido diurno con réplica del recorrido en horas crepusculares y nocturnas.

En anfibios se encontró que la cobertura de Bosque denso alto (Bda) tuvo el mayor éxito de muestreo (2,16), implementándose 32 horas de esfuerzo. La cobertura con el menor éxito de muestreo fue Pastos (P) con un valor de 0,8 individuos/hora-hombre. En total se reportaron 590 individuos de anfibios en 62 días de esfuerzo, generando un éxito de muestreo de 0,99 individuos/hora hombre (Tabla 2.142).

Tabla 2.142 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de anfibios en el área de influencia del proyecto

ANFIBIOS															
Método de Muestreo	**Índice/Esfuerzo Captura**	**Bda**	**Bfvs**	**Bgr**	**Cañ**	**GUA**	**Mc**	**P**	**Tu**	**Vsa**	**Vsb**	**Zic**	**Zem**	**Zva**	**Ac**
Búsqueda por encuentro visual (VES)	Nº de observaciones	69	64	60	55	8	44	141	17	75	57	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (horas/hombre)	32	32	40	40	32	56	160	24	40	40	24	24	24	24
	Éxito de muestreo (individuos/días-hombre)	2,16	2	1,5	1,375	0,25	0,79	1,17	0,71	1,88	1,425	0	0	0	0

Abreviaturas coberturas: Bda: Bosque denso alto; Bfvs: bosque fragmentado con vegetación secundaria; Bgr: bosque de galería y/o ripario; Cañ: cultivos permanentes herbáceos-caña; GUA: Guadua; Mc: mosaico de cultivos; P: Pastos; Tu: Tejido Urbano; Vsa: vegetación secundaria alta; Vsb: vegetación secundaria baja, Zic: Zonas industriales y comerciales; Zem: Zonas de extracción minera; Zva: Zonas verdes artificializadas, no agrícolas; Ac: Aguas continentales.
Fuente: Integral S.A, 2026

En Reptiles la cobertura de Tejido urbano (Tu) tuvo el mayor éxito de muestreo (1,29), implementándose 24 horas de esfuerzo y registrando 31 individuos. La cobertura con mayores registros fue Pastos (P) con 90 individuos y un éxito de muestreo de 0,56 individuos/hora-hombre. La cobertura con el menor éxito de muestreo fue Guadua (GUA) con un valor de 0,34 individuos/hora-hombre. En total se reportaron 310 individuos de reptiles en 62 días de esfuerzo, generando un éxito de muestreo de 5 individuos/días hombre (Tabla 2.143).

Tabla 2.143 Esfuerzo de muestreo realizado para la caracterización de reptiles en el área de influencia del proyecto

Reptiles															
Método de Muestreo	**Índice/Esfuerzo Captura**	**Bda**	**Bfvs**	**Bgr**	**Cañ**	**GUA**	**Mc**	**P**	**Tu**	**Vsa**	**Vsb**	**Zic**	**Zem**	**Zva**	**Ac**
Búsqueda por encuentro visual (VES)	Nº de observaciones	24	22	29	21	11	31	90	31	31	20	0	0	0	0
	Esfuerzo de muestreo (Días/hombre)	32	32	40	40	32	56	160	24	40	40	24	16	8	24
	Éxito de muestreo (individuos/días-hombre)	0,75	0,69	0,73	0,53	0,34	0,55	0,56	1,29	0,775	0,5	0	0	0	0

Abreviaturas coberturas: Bda: Bosque denso alto; Bfvs: bosque fragmentado con vegetación secundaria; Bgr: bosque de galería y/o ripario; Cañ: cultivos permanentes herbáceos-caña; GUA: Guadua; Mc: mosaico de cultivos; P: Pastos; Tu: Tejido Urbano; Vsa: vegetación secundaria alta; Vsb:

vegetación secundaria baja, Zic: Zonas industriales y comerciales; Zem: Zonas de extracción minera; Zva: Zonas verdes artificializadas, no agrícolas; Ac: Aguas continentales.
Fuente: Integral S.A, 2026

En total se realizaron 37 transectos y 74 puntos de conteo en los 62 días efectivos de muestreo, distribuidos en las 12 coberturas objeto de estudio, a continuación, en la Tabla 2.144 y la Tabla 2.145 se presenta la información de cada evento de muestreo.

Tabla 2.144 Transectos realizados para el muestreo de herpetofauna en el área de influencia del proyecto

Código	Inicio		Fin		Longitud (m)	Cobertura
	Este	Norte	Este	Norte		
TH01-PE	4.795.321,90	2.275.952,07	4.794.917,94	2.275.873,81	720,47	Pastos enmalezados
TH01-TUC	4.789.873,81	2.278.148,55	4.789.244,19	2.278.481,94	1,877,18	Tejido urbano continuo
TH06-PA	4.790.795,52	2.277.702,17	4.790.854,46	2.277.789,93	157,3	Pastos arbolados
TH03-TUD	4.790.946,91	2.278.135,82	4.790.902,25	2.278.073,96	126,98	Tejido urbano discontinuo
TH01-BF	4.786.895,69	2.279.292,96	4.787.151,27	2.278.902,61	833,12	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
TH02-PE	4.787.171,73	2.278.898,15	4.787.525,61	2.279.112,97	631,61	Pastos enmalezados
TH02-BD	4.783.464,73	2.279.081,57	4.783.467,30	2.279.103,60	929,91	Bosque denso alto
TH01-VSA	4.792.455,54	2.277.508,85	4.792.504,49	2.277.364,71	1.044,23	Vegetación secundaria alta
TH01-BGR	4.788.477,84	2.279.213,22	4.787.785,76	2.279.548,33	979,06	Bosque de galería y/o ripario
TH01-GUA	4.789.862,75	2.277.909,06	4.789.818,88	2.277.849,53	1.204,63	Guadua
TH02-CA	4.790.142,28	2.277.228,43	4.790.505,22	2.277.683,12	1.478,34	Caña
TH02-VSA	4.791.763,05	2.274.951,95	4.791.503,95	2.275.059,33	519,92	Vegetación secundaria alta
TH04-PA	4.794.625,48	2.276.859,24	4.794.654,71	2.276.615,38	669,89	Pastos arbolados
TH01-MC	4.791.345,63	2.277.857,67	4.791.190,86	2.277.969,45	295,19	Mosaico de cultivos
TH02-GUA	4.788.303,51	2.277.609,22	4.788.302,20	2.277.614,44	58,78	Guadua
TH03-GUA	4.788.363,64	2.277.635,71	4.788.365,35	2.277.631,75	66,33	Guadua
TH04-GUA	4.788.386,63	2.277.655,80	4.788.411,29	2.277.666,17	113,93	Guadua
TH05-MC	4.789.072,18	2.278.614,08	4.789.106,26	2.278.554,18	313,99	Mosaico de cultivos
TH04-BD	4.781.531,35	2.278.140,94	4.782.006,91	2.277.757,05	931,94	Bosque denso alto
TH03-VSB	4.788.068,95	2.277.560,55	4.788.060,12	2.277.571,53	910,3	Vegetación secundaria baja
TH03-VSA	4.786.613,95	2.274.821,43	4.786.507,11	2.274.852,42	449,77	Vegetación secundaria alta
TH03-BD	4.787.463,19	2.276.148,92	4.787.288,69	2.276.096,83	1.138,31	Bosque denso alto
TH02-PL	4.787.662,16	2.275.850,61	4.787.659,29	2.275.941,61	724,18	Pastos limpios
TH02-TUD	4.790.974,77	2.277.948,45	4.790.853,80	2.277.794,48	272,27	Tejido urbano discontinuo
TH01-CA	4.790.436,49	2.277.482,66	4.790.642,67	2.277.965,73	994,25	Caña
TH03-PL	4.790.961,45	2.278.169,17	4.790.948,69	2.278.138,58	218,99	Pastos limpios
TH02-MC	4.791.644,43	2.277.846,94	4.791.656,08	2.277.879,25	419,87	Mosaico de cultivos
TH03-MC	4.791.645,15	2.277.805,22	4.791.482,87	2.277.844,96	415,5	Mosaico de cultivos
TH01-PL	4.790.058,83	2.276.346,36	4.790.145,03	2.275.961,00	1.959,29	Pastos limpios
TH02-BGR	4.790.055,92	2.276.363,03	4.789.803,46	2.275.937,52	768,33	Bosque de galería y/o ripario
TH01-BD	4.793.930,24	2.275.246,87	4.794.886,93	2.275.990,28	1.456,04	Bosque denso alto
TH02-PA	4.794.524,24	2.276.009,56	4.794.533,27	2.275.887,02	1.108,11	Pastos arbolados
TH03-PA	4.794.545,54	2.276.337,78	4.794.418,91	2.276.136,04	1.137,28	Pastos arbolados
TH01-PA	4.794.387,70	2.276.027,29	4.794.045,02	2.275.533,51	1.582,90	Pastos arbolados
TH05-PA	4.794.626,71	2.276.733,21	4.794.603,68	2.276.772,35	1.080,83	Pastos arbolados
TH02-VSB	4.791.708,79	2.274.406,92	4.791.876,37	2.274.493,24	313,35	Vegetación secundaria baja

Código	Inicio		Fin		Longitud (m)	Cobertura
	Este	Norte	Este	Norte		
TH01-VSB	4.791.978,47	2.274.861,49	4.791.772,37	2.274.942,67	377,86	Vegetación secundaria baja

Fuente: Integral S.A, 2026

Tabla 2.145 Puntos de observación realizados para el muestreo de herpetofauna en el área de influencia del proyecto

Código	Coordenadas		Cota	Cobertura
	Este	Norte		
MG_M_CT_2B	4.791.291,44	2.276.234,66	868,80	Vegetación secundaria alta
MG-H01	4.791.691,07	2.276.262,47	909,35	Cultivos permanentes herbáceos - Caña
MG-H02	4.791.745,96	2.276.213,06	909,87	Cultivos permanentes herbáceos - Caña
MG-H03	4.791.807,39	2.276.141,19	904,39	Cultivos permanentes herbáceos - Caña
MG-H04	4.791.487,99	2.276.366,60	837,34	Cultivos permanentes herbáceos - Caña
MG-H05	4.791.501,74	2.276.316,02	836,68	Cultivos permanentes herbáceos - Caña
MG-H06	4.792.107,68	2.276.186,07	872,74	Vegetación secundaria alta
MG-H08	4.793.211,64	2.276.269,62	857,42	Pastos arbolados
MG-H09	4.793.208,54	2.276.268,74	856,51	Pastos arbolados
MG-H10	4.793.227,80	2.276.378,82	849,76	Pastos arbolados
MG-H11	4.793.213,76	2.276.257,56	862,01	Pastos arbolados
MG-H12	4.792.282,06	2.277.108,60	910,10	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H13	4.793.218,33	2.276.179,08	891,08	Pastos arbolados
MG-H15	4.793.127,46	2.276.591,94	813,93	Pastos arbolados
MG-H16	4.793.122,27	2.276.595,49	813,52	Pastos arbolados
MG-H17	4.793.134,42	2.276.546,00	815,86	Pastos arbolados
MG-H18	4.793.133,74	2.276.614,69	812,61	Pastos arbolados
MG-H19	4.790.871,51	2.276.841,32	852,37	Pastos limpios
MG-H20	4.790.782,55	2.276.650,61	866,82	Pastos limpios
MG-H21	4.791.386,37	2.276.664,16	838,04	Pastos limpios
MG-H22	4.791.504,32	2.276.594,07	829,89	Pastos limpios
MG-H23	4.790.664,42	2.276.791,02	894,66	Pastos limpios
MG-H24	4.791.497,83	2.276.573,64	828,99	Pastos limpios
MG-H25	4.791.452,01	2.276.651,87	830,99	Pastos limpios
MG-H26	4.789.563,68	2.277.783,68	848,51	Vegetación secundaria baja
MG-H27	4.789.500,91	2.277.764,02	865,40	Vegetación secundaria baja
MG-H28	4.789.285,84	2.277.897,27	862,54	Vegetación secundaria baja
MG-H29	4.786.537,86	2.278.415,87	858,93	Bosque de galería y/o ripario
MG-H30	4.786.585,10	2.278.510,00	841,49	Bosque de galería y/o ripario
MG-H31	4.786.569,25	2.278.499,89	846,79	Bosque de galería y/o ripario
MG-H32	4.786.629,46	2.278.544,10	839,60	Bosque de galería y/o ripario
MG-H33	4.786.617,30	2.278.543,16	839,00	Bosque de galería y/o ripario
MG-H34	4.786.485,47	2.278.423,04	846,35	Bosque de galería y/o ripario
MG-H35	4.786.443,83	2.278.406,50	846.84	Bosque de galería y/o ripario
MG-H36	4.786.403,26	2.278.380,67	847,25	Bosque de galería y/o ripario
MG-H37	4.786.421,93	2.278.311,79	848,28	Bosque de galería y/o ripario

Código	Coordenadas		Cota	Cobertura
	Este	Norte		
MG-H38	4.786.415,83	2.278.271,42	848,90	Bosque de galería y/o ripario
MG-H39	4.786.419,80	2.278.297,16	847,76	Bosque de galería y/o ripario
MG-H40	4.785.900,27	2.278.330,69	913,75	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H41	4.785.908,74	2.278.317,39	915,48	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H42	4.785.915,71	2.278.305,72	913,92	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H43	4.785.932,24	2.278.268,35	917,18	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H44	4.785.863,84	2.277.973,80	954,02	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H45	4.785.877,49	2.277.927,55	960,51	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H46	4.785.923,64	2.278.252,87	929,07	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H47	4.785.877,39	2.277.914,30	969,04	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H48	4.785.866,76	2.277.837,70	994,57	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H49	4.785.926,49	2.278.274,97	919,75	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H50	4.785.900,89	2.278.122,22	902,73	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H51	4.785.957,35	2.278.107,96	880,36	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H52	4.785.935,22	2.278.105,73	882,51	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H53	4.785.938,69	2.278.116,77	883,10	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H54	4.785.914,58	2.278.114,87	893,40	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
MG-H55	4.789.699,62	2.277.323,57	862,67	Vegetación secundaria baja
MG-H56	4.789.795,71	2.277.586,78	851,95	Vegetación secundaria alta
MG-H57	4.789.814,73	2.277.588,04	848,33	Vegetación secundaria alta
MG-H58	4.789.827,35	2.277.590,75	842,14	Vegetación secundaria alta
MG-H59	4.789.816,97	2.277.595,88	849,31	Vegetación secundaria alta
MG-H60	4.789.790,32	2.277.581,26	849,11	Vegetación secundaria alta
MG-H61	4.789.816,52	2.277.602,96	850,04	Vegetación secundaria alta
MG-H62	4.789.413,69	2.278.125,22	858,79	Vegetación secundaria alta
MG-H63	4.789.413,33	2.278.145,12	856,01	Vegetación secundaria alta
MG-H64	4.788.786,12	2.277.850,74	894,61	Vegetación secundaria alta
MG-H65	4.788.767,95	2.277.929,64	882,42	Vegetación secundaria alta
MG-H66	4.788.741,43	2.277.176,04	899,55	Pastos enmalezados
MG-H67	4.788.698,85	2.277.143,15	896,02	Pastos enmalezados
MG-H68	4.788.703,10	2.277.156,62	895,82	Pastos enmalezados
MG-H69	4.788.747,64	2.277.209,30	900,91	Pastos enmalezados
MG-H70	4.788.638,10	2.277.133,76	892,72	Pastos enmalezados
MG-H71	4.788.538,12	2.277.158,24	908,01	Pastos enmalezados
MG-H72	4.788.693,68	2.277.152,56	895,38	Pastos enmalezados
MG-H74	4.788.461,87	2.276.733,97	975,10	Mosaico de cultivos
MG-H75	4.788.442,53	2.276.736,14	982,60	Mosaico de cultivos
MG-H76	4.788.407,42	2.276.693,38	1.005,49	Mosaico de cultivos

Fuente: Integral S.A, 2026

Tabla 2.146 Transectos de muestreo para las comunidades de fauna

ID_MUES_TR	N_COBERT	NOMENCLATURA	COTA_MIN	COTA_MAX	LONGITUD_M
T-ZIC-03	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	861,65	865,03	118,46
T-IR-01	Instalaciones recreativas	142	814,51	816,20	155,43
T-ZEM-02	Zonas de extracción minera y escombreras	13	851,51	882,43	269,53
T-ZEM-01	Zonas de extracción minera y escombreras	131	883,72	930,98	463,64
T-ZIC-02	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,99	832,60	389,48
T-ZIC-01	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	12	818,45	851,83	318,20

Fuente: Integral S.A, 2026

C. Fase Análisis

Para dar cumplimiento a los establecido en los Términos de Referencia para Proyectos de Explotación Minera y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (2018), los individuos registrados fueron determinados a nivel de especie o al nivel taxonómico más detallado posible. La nomenclatura taxonómica incluyó la versión más actualizada de las siguientes autoridades: para anfibios Amphibian Species of the World (http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/) reptiles The reptile database (http://www.reptile-database.org/) aves la American Ornithologists' Union (http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm) y mamíferos Mammal species of the world (http://www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/).

Con la información colectada se elaboraron matrices primarias de datos o bases de datos basadas en los listados de especies. Para cada una de las especies se registró como mínimo: la información geográfica, la información taxonómica, tipo de registro (observación, auditivo, captura, indicio, entrevista), y parámetros ecológicos (distribución altitudinal, dieta, hábitat, abundancia relativa, endemismo, categorías de amenaza, migración y uso).

Para el análisis de los resultados y con el fin de evaluar la representatividad del muestreo no solo a nivel de muestreo total sino también a nivel de coberturas, se construyeron curvas de acumulación de especies mediante el software iNEXT. Esta función permite el cálculo de las curvas mediante el uso de series o números de Hill extrapolados, mediante la rarefacción de especies, este método novedoso (Chao A. G., 2014), que permite disminuir la sensibilidad del muestreo a los uniques y duplicates, lo que acerca aún más la sección estadística a la realidad de la diversidad local.

Asimismo, se analizó la estructura para cada uno de los grupos en estudio en cuanto a composición, riqueza y abundancia de cada taxón para cada una de las unidades de cobertura presentes en el área de estudio.

La diversidad local se cuantificó a partir de índices de riqueza y dominancia como el de dominancia de Simpson, de diversidad de Shannon-Weiner, o el de Margalef. En lo que respecta al recambio de especies entre comunidades se utilizaron los índices de Bray-Curtis, de similitud de Jaccard. Tanto los índices alfa como beta se calcularon mediante el Software PAST 3:

a. Diversidad Alfa

La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad determinada, asumiendo que es homogénea; por lo tanto, es a nivel local.

- Índice de Margalef (DMG): Relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos.

$$DMG = \frac{S-1}{InN}$$

Ecuación 2.100 Índice de Margalef

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

- Índice de Simpson. El índice de Simpson muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie.

$$\lambda = \sum \left({}^{n^2}/_{N^2}\right) = \sum \rho_i^2$$

Ecuación 2.101 Índice de Simpson

Donde:

ρi = abundancia proporcional de la especie i, lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

- Índice de Equidad de Shannon – Wiener (H´): Este índice asume que todas las especies están representadas en las muestras, indicando qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas. Puede adquirir valores entre cero (0) cuando hay una sola especie y logaritmo de S cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Este índice puede verse fuertemente influenciado por las especies más abundantes.

$$H' = -\sum \rho_i \ln \rho_i \;\; y \;\; \sum \rho_i = 1$$

Ecuación 2.102 índice de Shannon

Donde:

ρi= abundancia proporcional de la especie i, lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

b. Diversidad Beta

I. Índices de similitud / disimilitud o distancia

El grado de recambio de especies, se evalúa teniendo en cuenta proporciones o diferencias. Las proporciones pueden evaluarse con ayuda de índices, así como de coeficientes que nos indican qué tan similares/disímiles son dos comunidades o muestras.

- Índice de Jaccard (Ij): Relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. El rango de este índice va desde cero (0) cuando no hay especies compartidas, hasta uno (1) cuando los dos sitios comparten las mismas especies.

$$I_{\int} = \frac{c}{a+b-c}$$

Ecuación 2.103 Índice de Jaccard

Donde:

a= número de especies en el sitio A.

b= número de especies en el sitio B.

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas.

2.3.4.2 Metodología caracterización componente Ecosistemas Acuáticos

La caracterización de las comunidades hidrobiológicas se realizó en 43 puntos de muestreos durante dos periodos hidrológicos contrastantes, época seca entre el 30 de diciembre de 2024 y el 25 de enero de 2025; y época de lluvias entre 22 de abril y el 10 de mayo de 2025. El muestreo y análisis de los datos fue realizado por el Laboratorio SGS COLOMBIA S.A.S – SGS, el cual cuenta con la acreditación ante el IDEAM, mediante la Resolución 1028 del 24 de septiembre de 2024; y el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con fines de Elaboración de estudios Ambientales, otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales mediante Resolución 000531 del 01 de abril de 2024 (véase ANEXOS_GENERALIDADES_ECOACUATICOS).

Las metodologías utilizadas para toma de muestras en campo y el análisis en laboratorio se basó en el manejo de la metodología descrita por el Standard Methods edición 24 (APHA-AWWA WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 2017) y de otras literaturas que describen procedimientos normalizados, validados y certificados para la correcta obtención de los datos hidrobiológicos (véase la Tabla 2.147).

Tabla 2.147 Métodos de análisis de campo y laboratorio para las comunidades hidrobiológicas

Comunidad	Método en campo	Método en Laboratorio
Perifiton	Rivera y Zapata, 2009 En: Acosta *et al.*,2009	10300C, SM modificado
Fitoplancton	10200B SM	Semina 1978 En: UNESCO 1978
Zooplancton	10200B SM	Paggi y Paggi 1995 en: Lopreto y Tell 1995
Macroinvertebrados Acuáticos	10200B SM	10500C SM
Peces	EPA/600/R-92/111	EPA/600/R-92/111

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

2.3.4.2.1 Fase de Campo

En cada punto de muestreo se procedió inicialmente a registrar las características propias del medio como el tipo de sistema, ancho, profundidad, color del agua, corriente, sustrato, vegetación circundante y todo tipo de posibles causantes de contaminación o impactos evidentes sobre el ecosistema en cuestión. Posteriormente, siguiendo la metodología propuesta anteriormente y basándose en el procedimiento I&E-ENVI-OPE-P-15 se realizó la toma de muestras del material biológico.

A continuación, se detalla brevemente la forma en que cada comunidad fue recolectada, y se presenta registro fotográfico de la metodología implementada.

A. Perifion

Para efectos del estudio biológico de esta comunidad, se escogieron varios sustratos (roca, hoja y tronco), sumergidos o que estuvieran en constante contacto con el agua, para raspar

la biopelícula adherida a ellos mediante un cepillo de dientes. El área de raspado que se definió para el estudio fue de 72 cm^2. La muestra colectada fue envasada en un frasco ámbar de 60 ml, se tiñó con solución Lugol, se fijó con solución de Transeau y posteriormente se rotuló para su identificación (véase la Fotografía 2.26).



Fotografía 2.26 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de perifiton

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

B. Plancton (fitoplancton y zooplancton

La comunidad planctónica fue muestreada utilizando una red cónica conectada a una botella colectora de 100 ml en su extremo terminal para los sistemas lóticos. Esta red poseía un ojo de malla de 23 µm para fitoplancton y de 55 µm para zooplancton. Posteriormente, las muestras de fitoplancton obtenidas mediante el filtrado fueron teñidas con Lugol y todas (fitoplancton y zooplancton) fijadas con solución Transeau y rotuladas para su transporte e identificación en el laboratorio de hidrobiología de SGS Colombia S.A.S. (véase la Fotografía 2.27).



Fotografía 2.27 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad planctónica

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

C. Macroinvertebrados Acuáticos

La comunidad bentónica muestreo implementando la técnica de Red tipo D, por medio de la cual se efectuaron arrastres o kicks en un transecto de 100m de la estación de muestreo; y removiendo con pies y manos o agitando y resuspendiendo el sustrato situado a 0.5 m cercanos de la boca de la red; de forma tal que se abarcó un área de 0,72 m^2. Los ejemplares

colectados fueron depositados en bolsas resellables, a las que se les adicionó etanol al 70% para su preservación y rosa de bengala para teñir, finalmente rotuladas para su identificación.



Fotografía 2.28 Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

D. Peces

Para la recolección de peces se delimitó el área de muestreo y se procedió a la búsqueda activa durante 60 minutos, realizando la captura mediante red de mano en sistemas de poca profundidad y asociados a vegetación, atarraya o red de pantalla en sistemas con profundidades mayores a 60 cm. Se tomaron fotografías *in situ* de los organismos utilizando el ictiómetro y colocando el ejemplar en plano sagital con la cabeza hacia la izquierda. Se fijaron los organismos (un individuo por especie) en frascos con formol al 10% y posteriormente se rotularon para su traslado al laboratorio.



Fotografía 2.29. Registro fotográfico del muestreo para la comunidad de Peces

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

2.3.4.2.2 Fase de Laboratorio

A. Perifiton

Las muestras fueron homogenizadas por agitación del recipiente 15 veces consecutivas. La metodología utilizada en la APHA, AWWA y WPCF, en el Standard Methods Ed. 24, propone, llenar la placa Sedgwick-Rafter (SR) transfiriendo 1 ml de la muestra con una micropipeta o pipeta graduada, dejando sedimentar la muestra de 5-15 minutos antes de iniciar el conteo.

Una vez ubicada la muestra bajo el microscopio óptico compuesto, se realiza el conteo de la muestra por bandas (en un aumento de 40X), hasta llegar a 400 organismos (unidades naturales) del género más abundante, lo anterior, bajo el supuesto que los organismos se distribuyen aleatoriamente, un conteo de 400 unidades naturales lleva a una precisión de ±10%" con un límite de confianza del 95%. Para la identificación de las muestras, los organismos se identificaron hasta el nivel jerárquico más bajo posible y se utilizó literatura especializada para la clasificación taxonómica de cada especie teniendo en cuenta la base de datos taxonómica Algaebase (ALGAEBASE, 2024) y Integrated Taxonomy Information System (ITIS, 2024).

B. Plancton

a. Fitoplancton

Esta comunidad comprende las microalgas que son capaces de realizar fotosíntesis como proceso principal para su desarrollo vital (Ramírez J, 2000), gracias a esta característica (como sucede en los ecosistemas terrestres con los demás organismos vegetales), el fitoplancton genera grandes aportes a la producción primaria de los ecosistemas acuáticos y contribuye en la trasferencia energética de las redes tróficas (Ramírez & Viña, 1998).

b. Zooplancton

Esta comunidad se encuentra representada por organismos animales del plancton, los cuales se caracterizan por ser heterótrofos (obtienen su alimento a partir del fitoplancton o filtración de otras partículas) y son generalmente consumidores primarios (Roldán & Ramírez, 2008). El plancton animal se constituye de un número variado de organismos, entre los cuales se pueden encontrar amebas, rotíferos y artrópodos, entre otros. La mayoría de estos organismos son de vida libre y se encuentran asociados a materiales suspendidos para conformar estructuras de protección (Streble & Krauter, 1987).

C. Macroinvertebrados Acuáticos

Cada muestra fue trabajada de manera independiente sometiéndolas a un lavado con agua sobre unos tamices de 250 µm y 710 µm cuyo objetivo fue separar los organismos de las impurezas (material vegetal y sedimentos). Los organismos fueron sometidos a tinción con solución de Rosa de Bengala durante mínimo una (1) hora para facilitar la separación, que se llevó a cabo en cajas de Petri bajo el estereoscopio. Una vez separados los organismos, se identificaron utilizando literatura especializada resaltando las siguientes referencias: (Liévano & Ospina, 2007), (Roldán, 1988), (Roldán, 2003), (Domínguez & Fernández, 2009) y (Leal, 2002); mientras que para la clasificación taxonómica se tuvo en cuenta la base de datos taxonómica Integrated Taxonomy Information System (ITIS, 2024).

D. Peces

Los organismos preservados, fueron sometidos a un análisis minucioso de la morfología con la ayuda de estereoscopio; para luego ser determinados a la menor resolución taxonómica posible, dependiendo la complejidad del grupo y el estado de desarrollo o de preservación de los ejemplares. Para su identificación se usó literatura especializada, concretamente las claves de (Lasso, y otros, 2011) y (Maldonado-Ocampo J, y otros, 2005). Una vez identificados fueron clasificados por la base taxonómica: Fishbase (Froese, 2019).

2.3.4.2.3 Fase de Análisis

Los índices ecológicos son herramientas que permiten estudiar de forma cuantitativa, las interacciones dentro y entre las comunidades, las cuales junto a las características fisicoquímicas modelan la diversidad y distribución de los organismos en los ecosistemas. El

objetivo es determinar la diversidad de las comunidades y para calcularlos es necesario contar con más de tres especies (taxa) por comunidad, ya que, de acuerdo con las propiedades emergentes típicas de cada nivel de organización ecológico, una comunidad está compuesta y definida por más de dos especies (Barnes & Massarini, 2008).

Esta fase se centralizó en la organización de los datos obtenidos de las comunidades evaluadas en cada estación de muestreo, para analizar el ensamblaje y determinar las propiedades ecológicas de cada una. Para ello, se tuvo en cuenta la riqueza y abundancia de la fauna y microflora por medio de descripciones, gráficos y tablas. El análisis de datos se realizó bajo Excel y en el programa estadístico Past 4,03. Posteriormente, se estimó la calidad del agua por medio de bioindicadores a través del índice BMWP/Col y se relacionaron las matrices de datos para la aplicación de índices ecológicos que describen a cada comunidad biológica en términos de diversidad, calculando los índices descritos a continuación:

A. Índice de Shannon-Weaver (H')

Mide la diversidad (entropía) de la muestra, es decir el grado de incertidumbre en la identidad de una especie en el conjunto de especies evaluadas. Tiene en cuenta la incidencia y abundancia de cada taxón. Es independiente del tamaño de la muestra (Moreno, 2001) y se calcula con la siguiente ecuación:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} Pi\ logPi$$

Ecuación 2.104 Calculo índice Shannon – Weaver

Donde Pi es la proporción de individuos de cada especie en el total de organismos en la muestra. Para el caso del presente monitoreo el índice fue calculado con el Log e.

Los resultados de este índice se expresan en nats/individuo y se distribuyen en un rango de 0,0 – 5,0. Su interpretación sugiere que valores de 0,0 – 1,5 nats/individuo demuestran baja diversidad (aguas muy contaminadas); de 1,5 – 3,0 nats/individuo es diversidad media (aguas medianamente contaminadas) y 3,0 – 5,0 nats/individuo, alta diversidad o aguas muy limpias (Roldán & Ramírez, 2008).

B. Índice de Equidad o Uniformidad de Pielou (J')

Calcula la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001). Se calcula de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{H'max}$$

Ecuación 2.105 Calculo índice Equidad o Uniformidad de Pielou (J')

Donde H´max = Ln (S).

Su interpretación sugiere que valores cercanos a 1.00 indican especies con abundancia similar, es decir homogeneidad de la muestra.

C. Índice de Dominancia de Simpson (D)

Calcula la dominancia de la comunidad, está influenciado por la importancia de las especies más abundantes de la muestra (Moreno, 2001), (Roldán & Ramírez, 2008); este dato se puede hallar de la siguiente forma:

$$\lambda' = \frac{\Sigma\, ni\ (ni-1)}{ni\ (ni-1)}$$

Ecuación 2.106 Calculo índice Dominancia de Simpson (D)

Los valores del índice oscilan entre 0,00 y 1,00; cuando λ tiende a 0, la dominancia es baja y cuando tiende a 1,00 la dominancia alcanza su valor máximo (Roldán & Ramirez, 2008).

D. Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col

Este índice biológico determina la calidad del agua por medio de macroinvertebrados bentónicos, basándose en un puntaje asignado a ciertas familias en relación con su mayor o menor resiliencia ambiental. La suma de los valores de cada familia registrada como indicadora arroja un valor que proporciona el puntaje total BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score perTaxon), hace referencia al puntaje total de BMWP dividido entre el número de los taxones, y es un índice valioso para la evaluación de un sitio (Roldán & Ramírez, 2008). Los resultados obtenidos para el BMWP/Col oscilan desde 0 hasta más de 150 y de acuerdo con esto se obtiene un estimado de la calidad del agua en cuestión, como se detalla en la Tabla 2.148.

Tabla 2.148 Valores del BMWP/Col y ASPT con su respectiva interpretación

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor del ASPT	Significado
I	Buena	> 150	> 9 – 10	Aguas muy limpias
		101 – 120	> 8 – 9	Aguas no contaminadas
II	Aceptable	61 – 100	> 6,5 – 8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación
III	Dudosa	36 – 60	> 4,5 – 6,5	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	16 – 35	> 3 – 4,5	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	< 15	1 – 3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: (Roldán, 2003) (Álvarez, 2006)

E. Análisis toxicológico de peces

Para el análisis toxicológico se realizaron dos campañas de muestreo en temporadas climáticas contrastantes. La temporada seca se realizó entre el 30 de diciembre de 2024 y el 25 de enero de 2025, en el cual se seleccionaron 40 puntos de muestreo (ver Tabla 2.149). La temporada de lluvias se realizó entre el 22 de abril y el 10 de mayo de 2025, y se seleccionaron 59 puntos de muestreo (ver Tabla 2.150). Para descripción detallada de cada uno de los puntos de muestreo ver ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS.

Tabla 2.149. Puntos de muestreo para análisis toxicológico en temporada seca

Id muestra	Punto de muestreo	Coordenadas planas origen nacional		Coordenadas geográficas	
		Norte	Este	Latitud	Longitud
BO2500432.001	AN01	2278273,99	4789150,71	6°30'53,34698"N	74°54'27,00119"W
BO2500423.004	AN02	2278147,63	4790665,88	6°30'49,4183"N	74°53'37,65765"W
BO2500167.001	AN03	2277760,5	4791607,55	6°30'36,92755"N	74°53'6,95331"W
BO2500167.002	AN04	2277608,6	4791759,13	6°30'32"N	74°53'2,0"W
BO2500423.003	AN05	2277861,12	4792032,85	6°30'40,25552"N	74°52'53,11936"W
BO2500390.003	AN07	2277783,47	4792618,46	6°30'37,79804"N	74°52'34,04466"W
BO2500423.001	AN08	2277658,04	4792775,55	6°30'33,73283"N	74°52'28,91523"W
BO2500168.002	B02	2277049,91	4788743,47	6°30'13,43965"N	74°54'40,10855"W
BO2500217.002	B03	2277679,69	4789323,63	6°30'34,01723"N	74°54'21,29858"W
BO2500194.004	C02	2277765,74	4788948,06	6°30'36,77293"N	74°54'33,5361"W
BO2500194.003	C03	2278520,67	4790052,07	6°31'1,48983"N	74°53'57,68665"W
BO2500217.003	EB02	2278789,99	4786727,56	6°31'9,84838"N	74°55'45,95304"W
BO2500217.001	EB03	2279492,29	4786741,96	6°31'32,71745"N	74°55'45,57173"W
BO2500364.002	G03	2276826,5	4787582,91	6°30'6,02204"N	74°55'17,8631"W
BO2500390.001	G05	2278367,4	4788740,86	6°30'56,33802"N	74°54'40,35578"W
BO2500423.002	LM01	2277306,82	4790124,5	6°30'21,97434"N	74°53'55,18003"W
BO2500194.001	LM02	2277629,56	4790713,92	6°30'32,55516"N	74°53'36,03042"W
BO2500194.002	LM03	2278073,85	4790945,57	6°30'47,05006"N	74°53'28,543"W
BO2500285.002	N04	2279676,09	4786454,8	6°31'38,66625"N	74°55'54,94353"W
BO2500006.001	N05	2279395,79	4787105,53	6°31'29,62047"N	74°55'33,72321"W
BO2500077.001	N06	2278827,92	4788424,95	6°31'11,29396"N	74°54'50,69741"W
BO2500077.002	N07	2278568,02	4788613,44	6°31'2,85467"N	74°54'44,52881"W
BO2500090.001	N08	2278623,74	4789072,27	6°31'4,72553"N	74°54'29,59794"W
BO2500090.002	N09	2278580,73	4789859,29	6°31'3,42181"N	74°54'3,97022"W
BO2500080.001	N10	2278322,66	4790607,28	6°30'55,11033"N	74°53'39,58683"W
BO2500080.002	N11	2277949,66	4791501,99	6°30'43,0704"N	74°53'10,41294"W
BO2500153.001	N12	2278043,61	4794975,02	6°30'46,5521"N	74°51'17,35432"W
BO2500153.002	N13	2277888,07	4792470,21	6°30'41,18605"N	74°52'38,88379"W

Fuente: SGS Colombia S.A.S, 2025

Tabla 2.150. Puntos de muestreo para análisis toxicológico en temporada de lluvias

Id muestra	Punto de muestreo	Coordenadas planas origen nacional		Coordenadas geográficas	
		Norte	Este	Latitud	Longitud
BO2502704.004	AN01	2278273,99	4789150,71	6°30'53,34698"N	74°54'27,00119"W
BO2502790.001	AN02	2278147,63	4790665,88	6°30'49,4183"N	74°53'37,65765"W

Id muestra	Punto de muestreo	Coordenadas planas origen nacional		Coordenadas geográficas	
		Norte	Este	Latitud	Longitud
BO2502610.002	AN03	2277760,5	4791607,55	6°30'36,92755"N	74°53'6,95331"W
BO2502716.002	AN04	2277608,6	4791759,13	6°30'32"N	74°53'2,0"W
BO2502716.001	AN05	2277861,12	4792032,85	6°30'40,25552"N	74°52'53,11936"W
BO2502809.001	AN07	2277783,47	4792618,46	6°30'37,79804"N	74°52'34,04466"W
BO2502854.002	AN08	2277658,04	4792775,55	6°30'33,73283"N	74°52'28,91523"W
BO2502717.001	B02	2277049,91	4788743,47	6°30'13,43965"N	74°54'40,10855"W
BO2502717.002	B03	2277679,69	4789323,63	6°30'34,01723"N	74°54'21,29858"W
BO2502790.002	C02	2277765,74	4788948,06	6°30'36,77293"N	74°54'33,5361"W
BO2502587.001	C03	2278520,67	4790052,07	6°31'1,48983"N	74°53'57,68665"W
BO2502704.001	EB02	2278789,99	4786727,56	6°31'9,84838"N	74°55'45,95304"W
BO2502704.002	EB03	2279492,29	4786741,96	6°31'32,71745"N	74°55'45,57173"W
BO2502759.001	G03	2276826,5	4787582,91	6°30'6,02204"N	74°55'17,8631"W
BO2502587.002	G05	2278367,4	4788740,86	6°30'56,33802"N	74°54'40,35578"W
BO2502809.003	LM01	2277306,82	4790124,5	6°30'21,97434"N	74°53'55,18003"W
BO2502717.004	LM02	2277629,56	4790713,92	6°30'32,55516"N	74°53'36,03042"W
BO2502717.003	LM03	2278073,85	4790945,57	6°30'47,05006"N	74°53'28,543"W
BO2502478.001	N04	2279676,09	4786454,8	6°31'38,66625"N	74°55'54,94353"W
BO2502478.002	N05	2279395,79	4787105,53	6°31'29,62047"N	74°55'33,72321"W
BO2502496.002	N06	2278827,92	4788424,95	6°31'11,29396"N	74°54'50,69741"W
BO2502496.004	N07	2278568,02	4788613,44	6°31'2,85467"N	74°54'44,52881"W
BO2502496.003	N08	2278623,74	4789072,27	6°31'4,72553"N	74°54'29,59794"W
BO2502496.001	N09	2278580,73	4789859,29	6°31'3,42181"N	74°54'3,97022"W
BO2502524.003	N10	2278322,66	4790607,28	6°30'55,11033"N	74°53'39,58683"W
BO2502524.004	N11	2277949,66	4791501,99	6°30'43,0704"N	74°53'10,41294"W
BO2502524.001	N12	2278043,61	4794975,02	6°30'46,5521"N	74°51'17,35432"W
BO2502524.002	N13	2277888,07	4792470,21	6°30'41,18605"N	74°52'38,88379"W
BO2502551.004	N15	2277079,24	4794324,72	6°30'15,0725"N	74°51'38,41042"W
BO2502551.001	N16	2276995,58	4794682,9	6°30'12,39125"N	74°51'26,73942"W

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

Las metodologías utilizadas para toma de muestras en campo y el análisis en laboratorio se basó en el manejo de la metodología descrita por el Standard Methods edición 24 (APHA-AWWA-WPCF, 2017) y de otras literaturas (Tabla 2.151) que describen procedimientos normalizados, validados y certificados para la correcta obtención de los datos hidrobiológicos.

Mediante la Resolución 1028 del 24 de diciembre de 2024 que acredita a SGS COLOMBIA S.A.S., como entidad pertinente para producir información cuantitativa, física, química y biológica para estudios y análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales.

Tabla 2.151. Métodos de análisis de campo y laboratorio para las comunidades hidrobiológicas

Comunidad	Métodos usados	
	Métodos en Campo	Métodos en Laboratorio
Ictiofauna	EPA/600/R-92/111	EPA/600/R-92/111

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

c. Fase de campo

En cada sitio de monitoreo se procedió inicialmente a registrar las características propias del medio como el tipo de sistema, ancho, profundidad, color del agua, corriente, sustrato, vegetación circundante y todo tipo de posibles causantes de contaminación o impactos evidentes sobre el ecosistema en cuestión. Posteriormente, siguiendo la metodología propuesta anteriormente y basándose en el procedimiento I&E-ENVI-OPE-P-15 se realizó la toma de muestras del material biológico.

Para la recolección de peces se delimitó el área de muestreo y se procedió a la búsqueda activa durante 60 minutos, realizando la captura mediante red nasa o de mano en sistemas de poca profundidad y asociados a vegetación, además de atarraya o red de pantalla en sistemas con profundidades mayores a 60 cm. Se tomaron fotografías *in situ* de los organismos utilizando el ictiómetro y colocando el ejemplar en plano sagital con la cabeza hacia la izquierda. Se fijaron los organismos (un individuo por especie) en frascos con formol al 10% y posteriormente se rotularon para su traslado al laboratorio.





Muestreo en temporada seca





Muestreo en temporada de lluvias

Fotografía 2.30. Colecta de ictiofauna para análisis toxicológico

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

d. Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas fueron analizadas en el laboratorio de hidrobiología de SGS COLOMBIA S.A.S.

Los organismos preservados, fueron sometidos a un análisis minucioso de la morfología con la ayuda de estereoscopio para luego ser determinados a la menor resolución taxonómica posible, dependiendo la complejidad del grupo y el estado de desarrollo o de preservación de los ejemplares. Para su determinación se utilizó literatura especializada, concretamente las claves de (Lasso, y otros, 2011) y (Maldonado-Ocampo, y otros, 2005). Una vez determinados, se verificó la taxonomía de cada ejemplar mediante la base de datos taxonómica Fishbase (Froese, 2019).

Para la determinación de metales totales en tejido de peces se realizó utilizando los individuos recolectados durante las campañas de campo (ver planillas de muestreo), mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), previa digestión ácida asistida por microondas. Este enfoque analítico es ampliamente utilizado para la cuantificación de elementos traza y metales en matrices biológicas debido a su alta sensibilidad, precisión y capacidad para determinar múltiples elementos de forma simultánea (United States Environmental Protection Agency-EPA, 1994).

Como etapa inicial, los especímenes capturados fueron identificados taxonómicamente y cuantificados por punto de muestreo. Considerando que el análisis fue caracterizar la exposición y acumulación de metales a escala de sitio y no de especie, los individuos recolectados en cada punto fueron procesados de manera conjunta para conformar muestras compuestas representativas de la comunidad íctica presente. De esta manera, las concentraciones de metales obtenidas corresponden al conjunto de organismos capturados en cada estación y representan la señal integrada de exposición ambiental para cada punto de muestreo.

Posteriormente, las muestras compuestas fueron homogenizadas para garantizar una distribución uniforme del tejido analizado y reducir la variabilidad asociada a diferencias individuales entre organismos. Este procedimiento resulta especialmente importante debido a que las muestras estuvieron integradas por especies pertenecientes a diferentes niveles tróficos y hábitos alimenticios, incluyendo organismos bentónicos, omnívoros, insectívoros y depredadores. La integración de estos grupos funcionales permite que los resultados reflejen la exposición acumulada a través de distintas vías de incorporación de contaminantes, incluyendo la absorción directa desde el medio acuático y la ingestión de recursos alimenticios potencialmente contaminados.

Una vez homogenizadas, las muestras fueron sometidas a digestión ácida siguiendo los lineamientos establecidos en el método EPA 3051A. Este procedimiento emplea recipientes cerrados y calentamiento por microondas en presencia de ácido nítrico concentrado con el fin de descomponer la matriz orgánica y transferir los metales contenidos en los tejidos a una solución acuosa apta para el análisis instrumental. La digestión por microondas permite reducir significativamente los tiempos de preparación, minimizar pérdidas de analitos por volatilización y optimizar la recuperación de los elementos de interés (United States Environmental Protection Agency-EPA, 1994).

Los digestos obtenidos fueron posteriormente analizados mediante ICP-MS, siguiendo los principios establecidos en el método EPA 200.8. Durante este proceso, la solución resultante es nebulizada e introducida en un plasma de argón de alta temperatura, donde los elementos presentes son atomizados y ionizados. Los iones generados son separados de acuerdo con su relación masa/carga mediante un espectrómetro de masas y cuantificados por comparación con patrones de calibración certificados, permitiendo la determinación precisa

de concentraciones incluso en niveles muy bajos (United States Environmental Protection Agency-EPA, 1994).

Para cada punto de muestreo se obtuvieron resultados integrados de concentración de metales asociados a las comunidades de peces presentes. Este enfoque permitió establecer comparaciones espaciales entre sitios y relacionar las concentraciones de metales con la composición biológica observada en cada estación.

La metodología fue aplicada para la determinación de los siguientes elementos, en cada una de las temporadas climáticas contrastantes:

Tabla 2.152. Elementos de interés ambiental evaluados para análisis de toxicidad en peces

Elementos evaluados en cada temporada climática	
Temporada seca	**Temporada de lluvias**
Arsénico (As)	Antimonio (Sb)
Cadmio (Cd)	Arsénico (As)
Calcio (Ca)	Cadmio (Cd)
Cobre (Cu)	Cobalto (Co)
Estaño (Sn)	Cobre (Cu)
Litio (Li)	Hierro (Fe)
Manganeso (Mn)	Manganeso (Mn)
Mercurio (Hg)	Mercurio (Hg)
Molibdeno (Mo)	Molibdeno (Mo)
Plomo (Pb)	Plomo (Pb)
Selenio (Se)	Selenio (Se)
Vanadio (V)	Vanadio (V)
Zinc (Zn)	Zinc (Zn)

Fuente: Integral S.A., 2026

Estos elementos son considerados de interés ambiental por su persistencia, potencial tóxico y capacidad de acumulación en organismos acuáticos. La selección de estos elementos responde a su frecuente asociación con actividades antrópicas como minería, vertimientos industriales, procesos de erosión y aportes de origen agrícola, así como a su utilidad para evaluar procesos de bioacumulación y posibles riesgos ecológicos dentro de los ecosistemas acuáticos.

En conjunto, la combinación de muestras compuestas por punto de muestreo, digestión ácida asistida por microondas e ICP-MS constituye una metodología robusta y ampliamente aceptada para estudios de monitoreo ambiental, bioacumulación y evaluación de riesgos. Su aplicación permite obtener una caracterización representativa de la exposición a metales en las comunidades ícticas presentes en cada estación de muestreo, integrando tanto la diversidad biológica observada como las distintas rutas de incorporación de contaminantes dentro de la red trófica acuática (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

e. Fase de análisis

El análisis de metales se realizó por punto de muestreo y no por especie, debido a que la metodología empleada contempla la homogenización de los ejemplares colectados en cada punto, integrando individuos de diferentes especies en una misma muestra compuesta. En este sentido, las concentraciones de cada metal reportadas para cada punto corresponden al conjunto de peces capturados y procesados en dicho sitio. Por tanto, los resultados obtenidos

deben interpretarse como representativos de la comunidad íctica muestreada en cada punto y no de especies individuales.

En Colombia, la normatividad relacionada con metales pesados se enfoca principalmente en los riesgos que estos representan para la salud humana debido a su capacidad de bioacumularse en los tejidos de organismos consumidos. En este contexto, se han promulgado disposiciones conjuntas entre el Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Salud y Protección Social. Entre ellas se destaca la Ley 1658 de 2013, la cual regula el uso y comercialización del mercurio (Hg); la Resolución 122 de 2012, que establece los límites máximos permisibles de metales pesados en tejidos de peces destinados al consumo humano, exceptuando el arsénico (As); y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1443, que define parámetros similares para alimentos de origen animal. Los límites para cada metal se presentan en la tabla (Tabla 2.153).

Tabla 2.153. Comparación de los límites máximos permisibles de metales pesados establecidos en la Resolución 122 de 2012 y la NTC 1443

Metal	Resolución 122 (peces)	NTC 1443 (alimentos de origen animal)
Plomo (Pb)	0,3 mg/kg	0,4 mg/kg
Cadmio (Cd)	0,05 mg/kg	0,1 mg/kg
Mercurio (Hg)	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg

Fuente: Integral S.A., 2025, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

La determinación de metales pesados y otros contaminantes en tejidos de peces está condicionada por la cantidad mínima de muestra requerida por los métodos analíticos empleados por los laboratorios acreditados. La masa de tejido disponible depende directamente del tamaño, peso y condición biológica de cada individuo capturado. En ejemplares de pequeño tamaño, especialmente en especies de porte reducido o individuos juveniles, la cantidad de tejido obtenida después de los procesos de disección y preparación puede resultar insuficiente para realizar la totalidad de los análisis programados. En estos casos, el laboratorio debe priorizar determinados analitos o, alternativamente, reportar la imposibilidad de ejecutar algunos ensayos debido al incumplimiento del volumen o masa mínima exigida por los métodos de referencia.

Las especies seleccionadas para el análisis de metales pesados corresponden a la totalidad de los taxones registrados durante las campañas de muestreo y representan una amplia diversidad de hábitos alimenticios, nichos ecológicos y niveles tróficos presentes en los ecosistemas evaluados.

2.3.5 Metodología Caracterización del medio socioeconómico

A continuación, se presentan las metodologías para cada una de las actividades realizadas y su alcance en el marco del proceso de participación y socialización de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, así como la caracterización socioeconómica de acuerdo a los componentes establecidos en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera, emitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (TdR-13), y en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MADS, 2018).

De este modo, primero se presentan las actividades desarrolladas en campo, partiendo de los procesos participativos con grupos de valor, y seguidamente se especifican las actividades de carácter técnico-administrativo especialmente relacionadas con procesamiento, análisis y sistematización documental.

2.3.5.1 Metodología caracterización participación y socialización con las comunidades

A continuación, se presenta la metodología que desde el medio socioeconómico se desarrolló para cumplir con lo requerido en cuanto a participación y socialización con las comunidades, según se consigna en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA proyectos de explotación minera -TdR13 (ANLA, 2016), y la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA) también emitida por la ANLA (2018). Estos insumos serán siempre observados en el marco de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, y su cumplimiento irá alineado con los principios promulgados en el Acuerdo de Escazú, ratificado en la nación a partir de la 2273 de 2022.

Los referentes mencionados, fijan los propósitos de los procesos de participación y socialización con las comunidades en el marco de procesos de licenciamiento ambiental, los cuales también son aplicables para el escenario de Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. En esta línea, el desarrollo de los procesos de participación y socialización con los grupos de valor en el marco de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote tuvo como propósitos:

- Socializar la información relacionada con las características técnicas, actividades y alcance tanto del proyecto como del estudio ambiental a desarrollar.
- Generar espacios de participación durante la elaboración del EIA para la solicitud de Modificación de Licencia Ambiental, en los cuales se presente información y se reciba retroalimentación sobre el proyecto y sus implicaciones, con información referente a los alcances, fases, actividades, infraestructura proyectada, áreas de influencia, caracterización ambiental, zonificación ambiental y de manejo, compensaciones del medio biótico, permisos socializados para el uso y aprovechamiento de recursos naturales (captaciones, vertimientos, entre otros), inversiones de no menos del 1% y el plan de gestión del riesgo.
- Dentro de estos espacios se deben socializar los impactos identificados y las medidas que se formulen para su manejo ambiental en cada una de las fases del proyecto. Asimismo, se debe promover que los participantes de estos espacios identifiquen otros impactos y medidas de manejo no contempladas en el estudio ambiental a fin de incluirlas en la evaluación de impactos y en el Plan de Manejo ambiental, si ello se considera pertinente.
- Socializar los impactos del EIA para la Modificación de Licencia Ambiental, de manera previa a la radicación de este en la autoridad ambiental.

Con este fin, y transversalizando los procesos participativos a la luz de lo planteado en el Acuerdo de Escazú, en el marco de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se diseñó e implementó una ruta compuesta por cuatro momentos: se inició con lo que se denominó Momento 0, que incluye actividades preliminares a la implementación de encuentros participativos directamente asociados a los propósitos promulgados en los TdR-13 y la MGEPEA.

En este Momento 0, obedeciendo a los principios de acceso a la información y publicidad promulgados en el Acuerdo de Escazú, de manera proactiva se indagó entre representantes de los grupos de valor por las consideraciones logísticas que deberían integrarse en el diseño de los espacios de socialización, vigilando siempre una difusión efectiva de la convocatoria, y que se contara con las condiciones para un diálogo respetuoso, sensible de los rasgos de

cada territorio, y fluido a partir de la divulgación transparente de contenidos asociados al proyecto.

El sondeo del Momento 0 permitió esclarecer las rutas para desarrollar una convocatoria amplia, que apelase a los liderazgos comunitarios para asegurar la transmisión de un mensaje abierto de invitación a los espacios asociados a cada grupo de valor. Adicionalmente, se implementaron medidas de convocatoria de amplio alcance, de modo que se garantizase una publicidad adecuada para la celebración de estos espacios, enmarcada en el principio de acceso a la información.

Posteriormente se desarrolló el Momento 1, enfocado en una presentación de las características del proyecto, la modificación propuesta a sus obras, y el trámite a emprender. Adicionalmente se explicó la estructura del EIA a desarrollar para presentar a manera de soporte ante la ANLA, describiendo sus componentes y el alcance de su análisis. De igual manera, se informó sobre la estrategia de participación adoptada, y se anticipó sobre los momentos que vendrían a partir de este al igual que sus propósitos.

En el Momento 2, que tuvo lugar de forma posterior al primero, se presentaron nuevamente generalidades del proceso de modificación de obras y el trámite de modificación de licencia que le acompaña, como insumo para dar paso a un espacio participativo enfocado en la identificación conjunta de impactos y medidas de manejo propuestas para el escenario de modificación. En este momento, se dinamizó cada espacio a partir de herramientas didácticas y la mediación de profesionales idóneos, donde se recogieron los aportes comunitarios con miras a integrarlos al proceso de evaluación ambiental.

Finalmente, se desarrolló el Momento 3, enfocado en la divulgación de los resultados del EIA para la modificación de licencia. En este espacio, se retomó información sobre la descripción del proyecto, a manera de insumo para contextualizar a los asistentes. Acto seguido, se explicaron los componentes del estudio ambiental, a saber: área de influencia, línea base de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, demanda de recursos naturales, zonificación ambiental, evaluación ambiental, al igual que los planes y programas que se formularon para dar atención a los impactos y riesgos del proyecto.

De manera transversal, se tuvieron algunas consideraciones generales para todo encuentro. Todos fueron registrados a través de instrumentos de acta de reunión, listado de asistencia y registro fotográfico, levantados siempre *in situ* y posterior a la autorización de los asistentes en el marco del reconocimiento del derecho a la intimidad emanado del Artículo 15 de la Constitución Política y reglamentado a través de la Ley 1581 del 2012 (*habeas data*).

Se consideró como lineamiento, que en caso de que, entre los asistentes se hubiera decidido no diligenciar el listado de asistencia, o bien no autorizar la toma de fotografías, se dejaría constancia en el acta. De no permitirse levantamiento de un acta de reunión *in situ*, posterior al encuentro y en un formato de acta de reunión, se haría la relatoría de la situación, y se solicitaría a un miembro de la Junta de Acción Comunal, o bien de la administración municipal o la personería, que refrendaran dicha relatoría.

Todas las evidencias levantadas *in situ*, al igual que los soportes de convocatoria, los insumos utilizados, y toda constancia de actuación en el marco de los procesos de interacción con grupos de valor, fueron anexados al estudio y referidos en el documento de caracterización socioeconómica (ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_01_REG_FOTOGRAFICO; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_02_ACTAS; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_4_INSUMOS_SOCIALI; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_5_MATRICES_IMPACTOS; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_6_CONVOCATORIA).

A continuación, se resumen los tiempos de desarrollo de los procesos participativos para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. (ver la Tabla 2.154).

Tabla 2.154 Resumen ejecución procesos participativos

Momento del proceso participativo	Fecha de ejecución	Grupos de valor
Momento 0	01/07/2025 al 22/09/2025	Unidades Territoriales del área de influencia para el EIA de la modificación de licencia; otros (Unidades Territoriales en el área de influencia original de la licencia y no incluidas en el área de influencia del EIA de la modificación de licencia)
Momento 1	01/10/2025 al 16/10/2025	Unidades Territoriales en el área de influencia para el EIA de la modificación de licencia; autoridades locales de los municipios de Yolombó y San Roque; empleados de Gramalote
Momento 2	07/11/2025 al 25/11/25	Unidades Territoriales en el área de influencia para el EIA de la modificación de licencia
Momento 3	19/01/2025 al 4/02/2025	Unidades Territoriales en el área de influencia para el EIA de la modificación de licencia; autoridades locales de los municipios de Yolombó y San Roque, y otras autoridades regionales y nacionales

Fuente: Integral S.A., 2025

Partiendo de la presentación general de la estrategia de participación, y la reseña de los momentos propuestos, a continuación, se brindará un detalle que permita entrever el derrotero temático y la dinámica adoptada para cada momento.

2.3.5.1.1 Momento 0 (actividades preparatorias para el proceso participativo)

En este momento se establecieron las bases previas para el diseño inclusivo y contextualizado de proceso participativo a implementarse en la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, desarrollando las siguientes actividades:

- Visita a la zona y contacto inicial con las comunidades y sus liderazgos
- Levantamiento de información primaria mediante el formato de actualización de información para los procesos informativos y participativos del proyecto Gramalote con los grupos de valor.

Estas dos actividades realizadas por parte de profesionales sociales de Integral S.A. permitieron el logro de los siguientes objetivos:

- Informar sobre la presencia de Integral S.A en el territorio, iniciando desde diciembre de 2024 para la toma de información relacionada con los temas de agua, flora y fauna, y durante el año 2025, en el cual se desarrollarán procesos participativos, encuentros comunitarios y demás actividades en campo para estudios ambientales requeridos para el Proyecto.

- Recopilar información sobre las condiciones preferentes e ideales según la perspectiva de los grupos de valor, para la implementación de procesos informativos y participativos a desarrollarse para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, incluyendo identificación de grupos y liderazgos presentes en las Unidades Territoriales, mejores prácticas de convocatoria, identificación de población con condiciones diversas que ameriten adecuaciones en la metodología a implementar, preferencias sobre días, horas y sitios para reunión, ayudas didácticas para socialización de información, entre otros. Esto con el fin de diseñar y promover espacios de interacción con el proyecto de forma amplia e incluyente durante la implementación de encuentros con grupos de valor.

Los registros de este momento participativo incluyeron: actas de reunión, registros fotográficos y formatos de actualización de información para los procesos informativos y participativos del proyecto Gramalote con los grupos de valor ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_02_ACTAS_M0). Estos momentos también fueron aprovechados para diligenciar los formatos de caracterización de información de los componentes demográfico, espacial, económico, cultural, y político-organizativo con liderazgos del área de influencia para generar los insumos de levantamiento de línea base a partir de la información primaria. También, se emprendieron las labores de recorrido en terreno para cada unidad territorial (los mismos se anexan en el ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_2_FICHAS_CARACT.

2.3.5.1.2 Momento 1 (socialización)

En este momento participativo, se realizó la presentación del proyecto a la población del área de influencia, autoridades locales y grupos de valor en general. Se divulgó información disponible sobre el diseño de obras y su finalidad, al igual que generalidades sobre las actividades que componen la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Para el desarrollo de este momento se usó como insumo una presentación en PowerPoint.

En complemento, se diseñó y exhibió material impreso en gran formato, donde se ilustró el contraste entre la huella del proyecto licenciado y la huella del proyecto modificado. Adicional a ello, se contó con dos vídeos, uno con un recuento del desarrollo histórico del proyecto, y otro sintetizando la dinámica de extracción mineral propuesta y el trámite de modificación de licencia ambiental en curso.

Se dispuso de espacios para la recepción de inquietudes y comentarios, se informaron los canales de atención del proyecto y se entregó copia de acta de reunión y del listado de asistentes a los representantes de las comunidades participantes junto con una copia impresa de la presentación implementada. Adicional a ello, se dispuso de medios digitales para la consulta de estos insumos, a los cuales se invita a la población a acceder a través de un QR que se dejó en cada espacio.

Este momento se adelantó con los grupos de valor a nivel local: las unidades territoriales en el área de influencia, al igual que las alcaldías, personerías y concejos municipales de San Roque y Yolombó. En los espacios comunitarios también se extendió la invitación a organizaciones comunitarias, asociaciones productivas, unidades sociales en el Plan de Acción de Reasentamiento (PAR) vigente, al igual que Unidades Mineras en el proceso de formalización.

Se buscó integrar a todos los actores de interés en las reuniones de la unidad territorial a la que pertenecieran, en lugar de hacer reuniones segregadas (por ejemplo, entre población del PAR, la JAC, o las Unidades Mineras en proceso de reasentamiento). Esto, considerando el interés general que suscita el proyecto al igual que las acciones que emprende en el marco

de su programa de reasentamiento y de formalización minera, aún entre la población que no es impactada directamente. Todo se adelantó, con el fin de asegurar una representatividad amplia de los actores en el territorio e integrar sus aportes a la elaboración del EIA (la convocatoria se aloja en la ruta CAP ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_6_CONVOCATORIA_M1).Los registros de este momento participativo incluyeron: actas de reunión, registros fotográficos, formatos de inquietudes y respuestas, formatos de evaluación de actividades participativas, presentaciones en PowerPoint, al igual que recursos digitales. Todo cuanto se registró, se aloja en los anexos del capítulo de caracterización socioeconómica ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_01_REG_FOTOGRAFICO_M1; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_02_ACTAS_M1; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_4_INSUMOS_ SOCIALI_M1

2.3.5.1.3 Momento 2 (identificación participativa de impactos y medidas de manejo)

Para el Momento 2 se desarrolló un espacio participativo enfocado en la identificación conjunta de posibles impactos de las actividades en el marco de la modificación de licencia. El mismo brindó una serie de insumos, como una revisión general de los justificantes de la modificación de licencia a partir de los cambios propuestos en la huella del proyecto, y un ejercicio de sensibilización que acercara a los participantes (todos pertenecientes a comunidades y otros actores de las unidades territoriales en el área de influencia), a los conceptos de actividad, impacto, y medida de manejo, como antesala para la dinámica de reconocimiento de impactos. Todo esto se respaldó en una presentación de PowerPoint.

El ejercicio participativo se enfocó en un diálogo, dinamizado por una matriz impresa en gran formato, donde se consignaban las actividades del proyecto, seguidas de un campo que sondeaba los impactos derivados de cada actividad entre los asistentes; interrogándoles por su comportamiento en un escenario de modificación de licencia, y finalmente un campo destinado a la identificación de medidas de manejo. Todos estos campos fueron diligenciados a mano en cada espacio, buscando que las personas constataran que su aporte quedara por escrito en el tablero de impactos.

Al igual que el primer momento, la convocatoria para estos espacios integró a la comunidad general, las unidades sociales en el PAR, las unidades mineras en el programa de formalización, y los demás actores de interés reconocidos por el proyecto. En lugar de buscar espacios segregados por tipo de actor, se celebraron reuniones amplias donde convergieron representantes de cada segmento, considerando el interés común que suscitan las actividades del proyecto para la comunidad independiente de su pertenencia a grupos específicos ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_013_OTROS_6_CONVOCATORIA_M2.

Los registros de este momento arrojaron fotografías, actas de reunión que dejaron consignado lo reportado en las matrices; comprobantes de convocatoria, listados de asistencia y los insumos de PowerPoint ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_01_REG_FOTOGRAFICO_M2; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_02_ACTAS_M2; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_4_INSUMOS_SOCIALI_M2

2.3.5.1.4 Momento 3 (devolución resultados)

Una vez consolidados los estudios para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se convocó de nuevo a los grupos de valor la divulgación de los resultados previo a la radicación ante la Autoridad Ambiental.

En este espacio se presentaron los resultados por título del estudio ambiental preparado y se recibieron de los asistentes, los comentarios o validaciones que consideraran necesarias. Este momento participativo se llevó a cabo con todos los grupos de valor a nivel regional, municipal y de unidades territoriales.

Al igual que el primer y segundo momento, la convocatoria para estos espacios integró a la comunidad general, las unidades sociales en el PAR, las unidades mineras en el programa de formalización, y los demás actores de interés reconocidos por el proyecto. En lugar de buscar espacios segregados por tipo de actor, se celebraron reuniones amplias donde convergieron representantes de cada segmento, considerando el interés común que suscitan las actividades del proyecto para la comunidad independiente de su pertenencia a grupos específicos (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_6_CONVOCATRIA_M3).

Los registros de este momento participativo consideraron: actas de reunión, registros fotográficos, formatos de inquietudes y respuestas, formatos de evaluación de actividades participativas y presentaciones en PPT ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_01_REG_FOTOGRAFICO_M3; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_02_ACTAS_M3; ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_4_INSUMOS_ SOCIALI_M3

2.3.5.1.5 Otras consideraciones en atención del Acuerdo de Escazú durante los espacios participativos

En todo contacto con grupos de valor, se informó sobre los canales dispuestos en el proyecto para facilitar la participación (oficina de atención a la comunidad, línea telefónica, correo, entre otros que el proyecto dispuso). Adicional a ello, siempre se promovió el control de la información consignada, con la entrega de una caja de madera diseñada para albergar todos los documentos asociados a la modificación de licencia. Estas cajas se guardaron en instalaciones de uso de las JAC por acuerdo con sus representantes, y al cabo de cada reunión se fueron nutriendo con las actas de reunión y presentación de PowerPoint impresas.

Sobre la participación incidente (participación con efectivos resultados):

- Se documentó a detalle las preguntas, comentarios, aportes y respuestas que se presentaron en los espacios participativos (momentos 1, 2 y 3) y en los canales de atención para los grupos de interés.
- Se analizaron las preguntas, comentarios y aportes haciendo trazabilidad en los documentos de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, evidenciando cuáles procedieron y fueron tenidos en cuenta, cuáles no aplicaron y por qué razón no se incluyeron. Se evidenció la homologación de los impactos enunciados en procesos participativos, con los estandarizados de ANLA.
- En el encuentro 3 (propósito participativo de devolución de resultados), se socializó con los grupos de valor el resultado de la participación incidente, dando cuenta de los aportes incluidos y no incluidos, explicando para estos últimos las razones de no procedencia.

La identificación participativa de impactos y medidas de manejo ambiental, no se llevó a cabo con las autoridades a nivel regional (CAR y Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia), toda vez que estas autoridades pueden ser requeridas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales para emitir conceptos técnicos durante el proceso de evaluación de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, razón por la cual no se consideró procedente que de un lado realizaran aportes para la evaluación de impactos y medidas de manejo y de otra, fueran emisores de concepto técnico sobre el estudio de modificación.

2.3.5.2 Metodología caracterización del área de influencia para medio socioeconómico

Con el fin de describir las características socioeconómicas de los municipios de San Roque y Yolombó, y las unidades territoriales y predios de intervención que conforman el área de influencia para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se consultó información de fuentes secundarias y primarias para la caracterización de los componentes demográfico, espacial, económico, cultural, político-organizativo, tendencias de desarrollo e información sobre población a reasentar y predios objeto de intervención y sus actividades económicas.

En línea con el Acuerdo de Escazú y la participación transversal de los grupos de valor en la construcción del Estudio, en los procesos de levantamiento de información para la caracterización del medio socioeconómico, se contó con la participación de autoridades locales, líderes y comunidad en general, a las que se les solicitó información con fines de caracterización social, incluyendo datos tanto de fuente primaria como secundaria.

La información recopilada para las Unidades Territoriales fue sistematizada en memorias de cálculo (Excel) por componente del medio socioeconómico, lo cual también fue insumo para el diligenciamiento de la GeoDataBase y hacen parte de los anexos presentados en el Capítulo 5.3 Medio socioeconómico (ANEXOS_CARACTERIZACION_SOCIAL_03_OTROS_1_MEMORIA_CALCULO).

2.3.5.2.1 Fuentes primarias

Para la recolección de información directa mediante fuente primaria, se implementaron dos estrategias.

La primera fue el diligenciamiento de un instrumento tipo entrevista semiestructurada previamente diseñado por Integral S.A. y aprobado por Gramalote, en el que se consultaron aspectos sobre los componentes demográfico, espacial, económico, cultural y político organizativo. Esta información fue levantada con personal de las localidades del área de influencia previamente sensibilizadas sobre los fines de la información recogida, y permitió captar las particularidades del territorio a partir del saber de cada interlocutor.

La segunda estrategia, incluyó recorridos de campo mediante observación, actualización de información del territorio, sus características espaciales, dotacionales, usos, entre otros, tomando las respectivas georreferencias.

A partir del desarrollo complementario de las dos líneas, se identificaron dinámicas sociales asociadas al área de influencia, relaciones funcionales, aspectos poblacionales, redes de prestación de servicios públicos y sociales, actividades económicas, rasgos culturales y medios de representación y participación política. La información recogida fue debidamente respaldada con información geográfica registrada y consignada en el modelo de geodatabase.

Esta recopilación de información primaria se llevó a cabo entre el 01/07/25 y el 17/12/25 de 2025.

2.3.5.2.2 Fuentes secundarias

Para la elaboración de la caracterización social, se consultó y analizó los datos oficiales emitidos por entidades como:

- DANE
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

- Ministerio de las Culturas
- Departamento Nacional de Planeación
- Secretarías de planeación, educación, cultura, salud entre otras
- CORNARE
- Corantioquia
- Unidad de Restitución de Tierras
- Alcaldías y entidades del orden municipal

Entre los documentos, bases de datos, y otro tipo de publicaciones revisadas se encuentran:

- Censo 2018 y sus proyecciones de población
- Estadísticas del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
- Evaluaciones Agropecuarias Municipales
- Anuario Estadístico de Antioquia
- Documentos de ordenamiento territorial municipal
- Planes de Desarrollo en los niveles Nacional, Departamental y Municipales
- Otros planes y proyectos de las entidades municipales
- Sitios Web municipales
- Bases de datos del Sisbén
- Plan de Gestión Ambiental de la CAR

Se revisó información disponible en estudios ambientales antecedentes determinando cuál de ella era procedente retomar para el presente estudio, por tratarse de información histórica que no presentara variación en el tiempo (ejemplo: proceso de poblamiento de territorio). Igualmente se revisó información secundaria generada por Gramalote, procedente de las gestión e implementación de acciones con diversos aliados, que pudiera dar cuenta de dinámicas actuales del territorio, sus poblaciones, organizaciones y actividades económicas, entre otras.

Sobre población a reasentar se tomó información base del EIA (2015) y de los estudios e informes con los que Gramalote cuenta, producto de la gestión social y construcción del Plan de Reasentamiento, actualizando la información a los universos de población de interés para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

2.3.5.2.3 Consultas a entidades y certificaciones

Una vez establecida el área de influencia del Proyecto para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y contando la con información requerida (obras, etapas, áreas, etc.), se realizaron las siguientes consultas:

- Ministerio del Interior, Autoridad Nacional de Consulta Previa en Colombia (DANCP): certificación de presencia o no de comunidades étnicas, como requisito para la obtención de licencias ambientales. Para ello se diligenció el formato establecido por la Autoridad incluyendo la información del proyecto solicitada.

2.3.5.2.4 Componente arqueológico

Para el componente arqueológico del medio socioeconómico se hizo la trazabilidad correspondiente, garantizando que el instrumento de manejo cuente con las actualizaciones que cobijen la propuesta de modificación en la huella. En ese sentido, se adelantó un trámite de Cambio Mayor tipo 1 y 2 ante el Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH, donde se modificaron el polígono general y los polígonos específicos registrados bajo la Resolución 0439 de 2020 de la misma entidad.

Toda acción emprendida en cumplimiento de las obligaciones del titular ante el ICANH, se hicieron teniendo en cuenta la metodología propuesta a continuación. Es de anotar que las estrategias metodológicas implementadas en los programas de arqueología preventiva durante la fase de prospección tienen como objetivo identificar y caracterizar los bienes muebles, inmuebles y contextos arqueológicos presentes en las áreas del proyecto, con el fin de evaluar los posibles impactos y proponer medidas de manejo para su protección (ICANH, 2021).

Para la respectiva trazabilidad, se consideraron los antecedentes investigativos de la zona, siendo que en los trabajos de campo que se han realizado en las diferentes etapas del proyecto, se enfatizó en la lectura del paisaje, ya que esta permite delimitar y caracterizar las áreas de nuestro interés, así como comprender los procesos que han influido en la formación del relieve de la zona. La revisión bibliográfica realizada para este proyecto y reflejada en los respectivos informes de seguimiento muestra una tendencia al uso de microespacios en épocas precolombinas. La evidencia arqueológica indica un uso predominante de cimas de colina y en menor medida, de lomeríos, cimas de lomo, laderas de pendiente suave y terrazas en vertiente.

La gran mayoría de emplazamientos arqueológicos documentados en los antecedentes de manejo arqueológico del proyecto se encuentran en la macro unidad de filos denudativos (UFD), caracterizada por un relieve colinado, acceso al recurso hídrico y suelos de fácil remoción propicios para el desarrollo de actividades agrícolas. En contraste, las áreas de llanura de inundación, terrazas aluviales, y laderas de pendiente media y fuerte son escenarios menos aptos para el hallazgo de evidencias arqueológicas debido a su alta inclinación y la dinámica de desbordamiento hídrico.

Con base en los procesos que se han llevado a cabo durante la ejecución del Programa de Arqueología Preventiva (PAP) y en los antecedentes revisados para la zona, se ha determinado que las cimas de colina, cimas de cuchilla y descansos de ladera, constituyen áreas relevantes para los estudios arqueológicos, por ello, se llevó a cabo un reconocimiento fisiográfico y de paisaje, orientado a identificar aquellas geoformas que por sus características son aptas para el asentamiento humano y presentan probabilidad de encontrar material arqueológico.

La lectura de paisaje consideró factores como las características del relieve, el acceso a recursos naturales, los tipos de suelo y las transformaciones antrópicas del entorno, lo que permitió comprender cómo se relacionaron las sociedades del pasado con su entorno geográfico, transformándolo y habitándolo. A partir de este análisis, las geoformas identificadas fueron denominadas: Unidades de Intervención Arqueológica (UIA), las cuales corresponden a unidades mínimas de relieve con características geomorfológicas específicas, como cimas de colina, cimas de cuchillas y descansos de ladera, que presentan condiciones favorables para la ocupación humana. Su clasificación se fundamentó en el tipo de geoforma, el grado de pendiente, el contenido cultural y las características del suelo. Estas unidades se identificaron de manera preliminar durante la prospección, con el fin de definir su potencial final mediante la ejecución de actividades arqueológicas, tales como pozos de sondeo, perfiles estratigráficos, entre otras.

Una vez identificadas las UIA, se procedió a realizar una prospección sistemática-dirigida mediante la excavación de pozos de sondeo, los cuales se distribuyeron de forma equidistante, con separaciones comprendidas entre 10 y 20 metros según las características de cada UIA. La disposición de los muestreos permitió cubrir completamente el área definida como UIA, garantizando el muestreo completo. La cantidad de sondeos en cada área estuvo determinada por el tamaño de las Unidades de Intervención Arqueológica (UIA). Cada pozo de sondeo se excavó con una medida estándar de 50 por 50 cm de lado, con una profundidad variable determinada por las condiciones del terreno, hasta alcanzar un estrato sin características que indiquen la presencia de material de interés cultural.

Una vez identificados los puntos de muestreo, se procedió a limpiar el área, retirando la maleza en caso de que el sitio la presentara. Posteriormente, el punto de muestreo fue marcado en el GPS Garmin 64s, registrando la UIA correspondiente, el tipo de muestreo y su consecutivo, ejemplo: UIA1PS1; los consecutivos se marcaron de 1 a N por UIA y por tipo de actividad. A partir de ese primer sitio y según el área y la forma de la UIA se definieron los siguientes muestreos.

Una vez marcado el punto para el pozo de sondeo en el GPS, se retiró la primera capa de suelo y se procedió con la excavación paulatina, durante este proceso se revisaron los terrones de suelo extraídos, con el fin de identificar la presencia de material arqueológico o algún indicio particular que fuera importante para la lectura estratigráfica. Las profundidades de los sondeos dependieron de las condiciones del suelo, los procesos edafológicos y la ausencia de horizontes o estratos culturales, llegando a suelo estéril o material parental.

Las evidencias halladas se embalaron en bolsas plásticas según el tipo de material cultural (cerámica, lítico), junto con un rotulo irrepetible que contiene información detallada de la fase del proyecto, municipio, número del muestreo, nivel de excavación, el tipo de material y la fecha de recolección, información que permite identificar la procedencia de cada muestreo.

Adicionalmente, a cada sondeo se le realizó una lectura estratigráfica, a partir de un perfil modal, se registraron los datos en fichas de campo y fotografías. Finalmente, se procedía al cierre del pozo, dejando el sitio lo más limpio y organizado posible, procurando que quedara en condiciones similares a como fue hallado, con el fin de evitar generar alteraciones significativas en la zona intervenida.

Durante la evaluación visual y el recorrido realizado en una de las áreas a prospectar dentro del denominado polígono específico R0439A000063, se observó que la extensión del terreno era mucho mayor y con dificultades para recorrer por las características topográficas, como pendientes pronunciadas. Además, se identificó la presencia de botaderos de roca producto de las actividades mineras.

En estos recorridos, fue posible evidenciar y reconocer sectores que no presentaron potencial arqueológico, obedeciendo a su geomorfología escarpada, al alto grado de alteraciones antrópicas o la presencia de construcciones modernas, por lo que no se realizó ningún tipo de excavación. En estos casos se realizó un registro fotográfico, desde las zonas transitables con el fin de documentar visualmente las condiciones del terreno, este registro permitió documentar por qué estos espacios no tienen condiciones adecuadas para la conservación y presencia de material cultural.

Los pozos de sondeo se realizaron siguiendo el mismo procedimiento: se inició con una limpieza parcial del área, se marcó el punto con GPS, se retiró la capa superficial del suelo y posteriormente se excavó el pozo. A continuación, se efectuó la revisión correspondiente del perfil del suelo, se diligenció la ficha de campo y se tomó el registro fotográfico. Finalmente, se realizó el cierre del pozo de sondeo.

Todas las actividades arqueológicas ejecutadas: Pozos de Sondeo (PS), Puntos de Observación (PO) y Revisiones de Perfil (RP) cuentan con su respectiva ficha de registro en campo. La ficha contiene información general del proyecto y su localización. Luego, incluye un espacio para registrar el material cultural identificado, seguido de un cuadro para graficar el PS o la RP y está acompañado de un campo donde se registran las características del suelo como color, textura, estructura, forma, consistencia, límites y actividad biológica. Además, tiene un espacio para las observaciones adicionales donde se registró cualquier aspecto relevante, que no se haya tenido en cuenta en los campos anteriores. La ficha de campo es un instrumento fundamental para la recolección de información, ya que permite consignar las particularidades de cada muestreo y garantizar la trazabilidad de los datos.

Cuando alguno de los muestreos arrojase resultados positivos con presencia de material cultural, inmediatamente este punto se registraba como Yacimiento, llenando una ficha de registro correspondiente. Esta ficha recopila información detallada del sitio, inicialmente incluyendo datos contextuales, fisiográficos y una descripción del sitio del muestreo positivo. También contiene un espacio para las observaciones, en el que se debe incluir un dibujo que indique la ubicación del muestreo en relación con el Norte y con elementos sobresalientes del entorno, finalmente hay un apartado para descripción de la información arqueológica. El objetivo de esta ficha es brindar una caracterización más completa de los yacimientos arqueológicos identificados en los sitios prospectados.

La información recolectada en las fichas permitió la construcción de bases de datos, donde se consolidaron las actividades realizadas en campo, lecturas estratigráficas y la clasificación del material identificado en cada sitio. Los datos gráficos y georreferenciados permitieron construir la información cartográfica de esta etapa, para ubicar las nuevas UIA muestreadas del proyecto y la distribución del material encontrado, lo que facilitó plantear las medidas en el Plan de Manejo Arqueológico.

2.3.6 Metodología Caracterización Servicios ecosistémicos

La metodología empleada para la identificación, descripción y categorización de los servicios ecosistémicos en el área de influencia del proyecto de MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE se fundamentó en los lineamientos de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos –PNGIBS- (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2012), las recomendaciones metodológicas del documento Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, y en particular, lo estipulado en los términos de referencia para proyectos de explotación minera TdR-13 del 27 de diciembre de 2016, y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018, emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

El documento contiene, en primer lugar, la presentación del área de influencia única identificada en el Capítulo 4. Área de Influencia donde se encuentran los sistemas socio ecológicos que interactúan con las actividades del proyecto en cada una de sus etapas; en segundo lugar, se abordan los insumos teóricos-conceptuales más relevantes y se describe la metodología planteada en la elaboración del presente documento; posteriormente, se determina la importancia y dependencia de estos servicios tanto de las comunidades locales como del proyecto.

2.3.6.1 Conceptualización de los servicios ecosistémicos

El término “biodiversidad” o “diversidad biológica” denota un concepto holístico. Según el Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés) se define como: “variabilidad de organismos vivos de todas las fuentes, incluidos, entre otros, los ecosistemas

terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro y entre especies y ecosistemas" (Bartkowski, 2015).

El concepto de ecosistema surgió en la búsqueda por comprender la interacción que existe entre los seres vivos y el ambiente abiótico que los rodea y se define como: "un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos en su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional materializada en un territorio, la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad, en sus condiciones biofísicas y antrópicas". Los ecosistemas cobran importancia en las decisiones y manejo de las regiones siempre y cuando puedan ser identificados y delimitados en el territorio e integrados en los demás elementos sociales, culturales y económicos". (Armenteras, 2016).

Así mismo, la sociedad humana se constituye en un sistema complejo que interactúa de forma dinámica con dichos ecosistemas. A este sistema complejo de interacciones entre el ser humano y la naturaleza, se le denomina sistema socio-ecológico (Berkes, 1998).

El concepto de servicio apareció para dar cuenta de la dependencia que la humanidad tiene de los ecosistemas, permitiendo hacer un vínculo explícito entre el estado y el funcionamiento de los ecosistemas (sistemas ecológicos) y el bienestar humano (sistemas sociales), y contribuye a orientar el manejo del territorio para lograr un desarrollo sostenible en escenarios de cambio ambiental. La viabilidad y permanencia de la sociedad en el tiempo depende de la conservación de los ecosistemas de los cuales se deriva el bienestar de su población. Son los ecosistemas los que proveen una serie de servicios que le permiten a una sociedad desarrollarse y mantenerse en el tiempo (Ruiz, 2004).

De esta manera los servicios ecosistémicos (SSEE) se definen como las condiciones y los procesos por los cuales los ecosistemas y sus especies sostienen el bienestar humano. Considerando los beneficios que distintos actores o sectores de la sociedad reciben de los ecosistemas, así como las complejas interacciones tanto positivas como negativas entre servicios y entre actores o sectores de la sociedad (Millenimun Ecosystem Assessment - MEA, 2005).

En términos generales se pueden identificar cuatro tipos de servicios ecosistémicos: SSEE de provisión o aprovisionamiento, SSEE de regulación, SSEE de soporte y SSEE culturales (Millenimun Ecosystem Assessment - MEA, 2005), cada uno de estos servicios se definen a continuación, en la Tabla 2.155.

Tabla 2.155 Clasificación de los Servicios Ecosistémicos, según MEA1287 (2005)

Tipo de servicio Ecosistémico	Definición	Ejemplos	Uso directo	Uso indirecto
Servicios de provisión o aprovisionamiento	Bienes y productos materiales (tangibles) que se obtienen de los ecosistemas	Alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, petróleo, carbón, gas, medicina, recursos genéticos, pieles, mascotas, etc.	X	
Servicios de soporte	Servicios y procesos ecológicos (de base) necesarios para la provisión y existenciade los demás servicios ecosistémicos	Ciclo de nutrientes/formaciónde suelo, fotosíntesis/producción primaria, ciclo del agua, provisión de hábitats para especies, mantenimiento de ladiversidad genética		X
Servicios de regulación	Beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos	Regulación del clima, Secuestro y almacenamiento de carbono, mantenimiento de la calidad del		X

Tipo de servicio Ecosistémico	Definición	Ejemplos	Uso directo	Uso indirecto
		aire, regulación del flujo del agua, control de enfermedades, el control de la erosión, la purificación del agua, dispersión de semillas,polinización.		
Servicios culturales	Beneficios no materiales obtenidosde los ecosistemas	Enriquecimiento espiritual, belleza escénica o valores estéticos, inspiración artística e intelectual, educación, recreación, reflexión.	X	

Fuente: (Ruiz, 2004)

2.3.6.2 Área de influencia para la evaluación de los servicios ecosistémicos

El área del proyecto minero, sobre la cual se realizó el análisis de los bienes y servicios ecosistémicos, corresponde al área de influencia social del proyecto definida en el Capítulo 4. Área de influencia socioeconómica.

2.3.6.3 Aspectos metodológicos

La identificación, estimación y análisis de los servicios ecosistémicos (SSEE) se realizó bajo los lineamientos que establecen los términos de referencia -TdR 13- y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA) de 2018, adoptada mediante Resolución 1402 de mismo año. Estos lineamientos llevan al diligenciamiento de la Tabla resumen que se presenta a continuación. (Véase Tabla 2.156).

Tabla 2.156 Caracterización de los SSEE del área de influencia del proyecto

Categoría de servicio ecosistémico	SSEE identificado	Usuarios del SSEE (Número de personas)	Dependencia de las comunidades del SSEE (alta, media o baja)	Dependencia del proyecto del SSEE (alta, media o baja)	Impacto del proyecto en el SSEE	Tendencia del SSEE (creciente, estable o decreciente)
Aprovisionamiento	Agua					
	Arena y roca					
	Madera					
	Fibras y resinas					
	Biomasa					
	Pesca y acuacultura					
	Carne y pieles					
	Plantas medicinales					
	Ingredientes naturales					
	Ganadería					
	Agricultura					
	Otro servicio identificado (especificar)					
Regulación y soporte	Control de la erosión					
	Regulación del clima					
	local/regional					
	Ecosistemas de purificación					
	de agua (p. e. humedales)					
	Almacenamiento y captura					
	de carbono					
	Salinidad/alcalinidad/					
	acidez del suelo					

Categoría de servicio ecosistémico	SSEE identificado	Usuarios del SSEE (Número de personas)	Dependencia de las comunidades del SSEE (alta, media o baja)	Dependencia del proyecto del SSEE (alta, media o baja)	Impacto del proyecto en el SSEE	Tendencia del SSEE (creciente, estable o decreciente)
	Otro servicio identificado (especificar)					
Culturales	Recreación y turismo					
	Espirituales y religiosos					
	Otro servicio identificado (especificar)					

[1] Este es un listado ilustrativo de SSEE que debe ser ajustado de acuerdo a los SSEE identificados en cada caso particular.
[2] Se debe argumentar con soportes técnicos válidos la presencia de valores superiores o inconmensurables que no puedan ser cuantificados
[3] La identificación y cuantificación de los usuarios del SSEE se debe realizar a partir de la caracterización de línea base del medio socioeconómico
[4] La valoración de los impactos debe corresponder a alguna de las categorías de calificación de los impactos establecidas en el capítulo 7 (evaluación ambiental)

Fuente: ANLA, 2017

Para determinar los servicios ecosistémicos que se prestan en el área de influencia del proyecto se contemplaron los siguientes objetivos metodológicos que permitieron el rastreo, análisis y presentación de la información:

a) Identificar los servicios ecosistémicos dentro de las comunidades del área de influencia.
b) Determinar la importancia o dependencia de los servicios ecosistémicos por parte de las comunidades locales.
c) Determinar el nivel de impacto que el proyecto de explotación aurífera tendrá sobre los servicios ecosistémicos identificados.
d) Determinar el nivel de dependencia que el proyecto explotación aurífera tiene sobre los servicios ecosistémicos identificados.

Para tal fin, se proponen tres (3) fases metodológicas como se muestra y describe a continuación en la Figura 2.64:

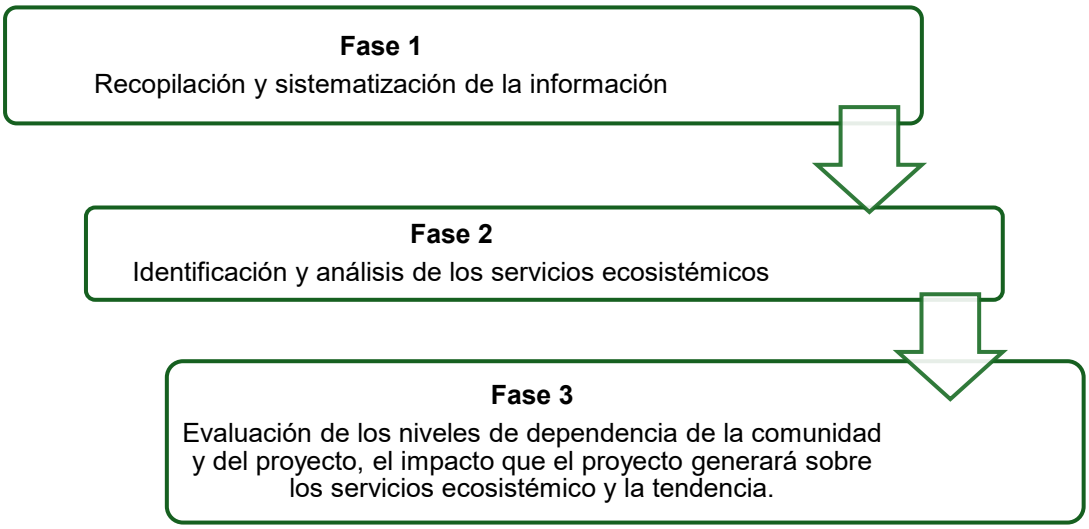


Figura 2.64 Fases metodológicas para el análisis de los servicios ecosistémicos

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.6.4 Fase 1: Recopilación y sistematización de la información

Para la identificación de cada uno de los servicios ecosistémicos en el área del proyecto se desarrollaron diferentes instrumentos para recopilar información primaria con las comunidades que permitió la identificación, descripción y, por último, un análisis de la conformación de los servicios ecosistémicos en el área de interés.

Para este análisis se parte de la información existente recolectada en estudios previos (EIA y primera modificación de licencia) en el que se indica que se: "*desarrolló consulta a los actores sobre los servicios ecosistémicos y su importancia para la sociedad, en la cual, se realizó una validación de la información recopilada sobre bienes ambientales y servicios ecosistémicos con la comunidad de las diferentes veredas y corregimientos del área de influencia directa del proyecto, tal y como lo requieren los términos de referencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se realizó un ejercicio en el marco de los talleres de presentación de resultados de línea base, a través de fotografías de algunas de las veredas del área de influencia directa del proyecto, en las cuales se evidenciaron diferentes escenarios naturales e intervenidos por el hombre; se preguntó a los asistentes sobre los elementos que conformaban dichas fotografías, lo que correspondió a la identificación de bienes ambientales y sobre el uso o la importancia de cada elemento para la comunidad, en relación directa con los servicios ecosistémicos que dichos elementos prestan. Los resultados de la actividad permitieron evidenciar el conocimiento local sobre los servicios ecosistémicos presentes y la importancia de dichas funciones para la sociedad.*"

Con la finalidad de actualizar e identificar el relacionamiento de la comunidad con los SE al momento de la elaboración del estudio de impacto para la presente modificación de licencia se realizaron entrevistas (encuestas) distribuidas a lo largo de las unidades territoriales (UT). El número de encuestas a realizar se determinó mediante una fórmula estadística diseñada para calcular el tamaño de muestra. Este procedimiento permite establecer la cantidad mínima de encuestas necesarias para que los resultados del estudio sean considerados válidos y representativos de la población objetivo. A continuación, se presenta la fórmula aplicada:

$$n = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra (proporción poblacional)

N: Tamaño poblacional

z: 1,645; asumiendo distribución normal. Corresponde a un nivel de confianza del 90%

p: Proporción 0,1 máximo el tamaño muestral

e: margen de error

En ese orden de ideas, el tamaño de la población representa la cantidad total de personas en el grupo que se desea estudiar; el margen de error es un porcentaje que muestra con qué precisión los resultados de una encuesta reflejan las opiniones de toda la población. Cuanto menor sea el margen de error, más precisa será la respuesta en un nivel de confianza determinado; por su parte el nivel de confianza mide qué tanta confianza se puede tener en que la población elegirá una respuesta dentro de un rango determinado y la desviación estándar mide qué tan separados están los datos del promedio o la media. Para el presente

estudio se realizó bajo un nivel de confianza del 90% con un porcentaje de error de 10%. En la Tabla 2.157 se detalla el cálculo de las encuestas requeridas para el presente estudio.

Tabla 2.157 Encuestas requeridas para el área de estudio por unidad territorial

UT	Total población	%	Nivel confianza 90%		
Centro poblado del Cgto. Providencia	2751	48%	31,9	32	32
Centro poblado del Cgto. Cristales	564	10%	6,5	7	7
El Diluvio	518	9%	6,0	6	6
El Iris	131	2%	1,5	2	2
Guacas Abajo	91	2%	1,1	1	1
Guacas Arriba	117	2%	1,4	1	1
La Bella	73	1%	0,8	1	1
La Linda	15	0%	0,2	0	1
La María	263	5%	3,0	3	3
La Trinidad	284	5%	3,3	3	3
Manizales	121	2%	1,4	1	1
Peñas Azules	216	4%	2,5	2	3
San Joaquín	230	4%	2,7	3	3
Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	110	2%	1,3	1	1
Villanueva	277	5%	3,2	3	3
Guacharacas	21	0%	0,2	0	1
Total	**5782**	**100%**	**66**	**67**	**69**

Fuente: Integral S.A., 2025

Se realizaron 69 encuestas distribuidas en las 16 unidades territoriales del área de influencia del proyecto talleres se dirigieron a los actores clave beneficiarios de los diferentes servicios ecosistémicos ubicados en las unidades territoriales donde se desarrollará el proyecto con la ayuda de un mapa de cartografía social y una ficha de identificación de servicios ecosistémicos (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_SSEE_Encuestas).

2.3.6.5 Fase 2: identificación de los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos que ofrece el área donde se ubicará el proyecto, se caracterizan a partir de la información primaria obtenida en campo y los estudios anteriores, la definición de los servicios ecosistémicos presentada en el marco conceptual y el listado propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en los Términos de Referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental -EIA- en proyectos de explotación minera.

Los **servicios ecosistémicos - SE** son identificados principalmente a partir de la información primaria recolectada en las encuestas sobre la percepción, uso y valoración que la comunidad hace de estos en el área de influencia del proyecto. Adicionalmente, a partir de la información recolectada para la caracterización social del proyecto mediante diferentes estrategias por parte del grupo social y en menor medida de la caracterización abiótica y biótica del proyecto.

2.3.6.6 Fase 3: Análisis de los servicios ecosistémicos

Una vez identificados los SSEE (según sean de provisión, soporte, regulación y culturales) se procede analizar la relación de cada uno respecto a los siguientes criterios:

- Importancia o dependencia a los SSEE por parte de las comunidades locales
- Nivel de impacto que el proyecto tendría sobre el servicio ecosistémico.
- Nivel de dependencia del proyecto a los servicios ecosistémicos

2.3.6.7 Importancia o dependencia a los SSEE por parte de las comunidades locales

Este criterio se cuantifica a partir de los resultados en la encuesta por tipo de servicio ecosistémico respondiendo a la pregunta de frecuencia de uso e importancia abordada desde cada tipo de servicio como se muestra en la Tabla 2.158 y la Tabla 2.159.

Servicios de provisión

¿Qué productos o recursos naturales utiliza usted o su familia del entorno en su vida diaria? ¿Y con qué frecuencia accede a estos recursos?

Tabla 2.158 Importancia - dependencia de SE Provisión

Servicio ecosistémico		Diariamente	Semanalmente	Mensualmente	Casi nunca
Provisión	Agua				
	Leña/Madera				
	Frutas silvestres				
	Semillas o alimentos				
	Plantas medicinales				
	Pesca				
	Caza				
	Paisaje				
	Arena y roca				
	Energía				
	Biomasa (compostaje)				
	Otro:				

Fuente: Integral S.A., 2025

Servicios de regulación y soporte

¿Ha notado que la naturaleza ayuda a regular algunos de los siguientes aspectos? ¿y qué tan importantes considera estos servicios para su bienestar?

Tabla 2.159 Importancia - dependencia de SE regulación y soporte

Servicio ecosistémico		Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante
Regulación	Control de erosión				
	Protección Fuentes hídricas				
	Calidad Aire				
	Regulación del clima				
	Regulación hídrica y depuración del agua				
	Regulación de plagas y enfermedades				

Servicio ecosistémico		Nada importante	Poco importante	Importante	Muy importante
Soporte	Polinización				
	Fertilidad del suelo				

Fuente: Integral S.A., 2025

Servicios culturales y recreativos

¿Cree que los paisajes naturales de su zona (como montañas, quebradas, bosques, etc.) tienen un valor especial para su comunidad o cultura?
¿Por qué cree que son importantes?
¿Usted o su familia realizan actividades creativas o turísticas en áreas naturales cercanas?
¿Con que frecuencia realiza estas actividades?

Los servicios culturales y recreativos evaluados son:

- Actividades recreativas (turismo)
- Sitios sagrados - religiosos
- Investigación

Para **cuantificar** el nivel de dependencia de las comunidades a los servicios ecosistémicos prestados por el área de influencia del proyecto, se tiene en cuenta la importancia que las comunidades dan a estos SE y las preguntas que hacen referencia a la frecuencia de uso. Para efectos de medir el grado de dependencia de estos recursos por parte de las comunidades locales se tradujeron las preguntas al criterio de calificación de importancia como se presenta en la Tabla 2.160.

Tabla 2.160 Calificación para los servicios de aprovisionamiento

Importancia		Calificación
Alta	Muy importante	3
Media	Importante	2
Baja	Poco importante	1

Fuente: Integral S.A., 2025

Finalmente, el nivel de dependencia se determinó mediante un análisis cuantitativo y cualitativo de los criterios de periodicidad e importancia, con el objetivo de identificar su predominancia y establecer si la dependencia es alta, media o baja.

Teniendo en cuenta que, cuando se trata de identificar servicios ecosistémicos, los de regulación y soporte no son fácilmente identificados por la comunidad, por el escaso conocimiento que los actores presentes en el territorio tienen sobre las particulares características del ecosistema que es objeto de estudio (Londoño, 2012), y teniendo en cuenta, además, que estos hacen parte de los procesos y funciones ecosistémicas, donde la periodicidad de uso, cantidad disponible y recuperabilidad es inconmensurable, al evidenciarse a escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás, la dependencia de la comunidad a los servicios de aprovisionamiento y regulación, se evalúa a partir de lo establecido en los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de minería. Ver Tabla 2.161.

Tabla 2.161 Criterios para la determinar la dependencia de las comunidades a los Servicios Ecosistémicos

Calificación	Descripción
Dependencia Alta	Los medios de subsistencia de la comunidad dependen directamente del servicio ecosistémico.

Calificación	Descripción
Dependencia Media	La comunidad se beneficia del servicio ecosistémico pero su subsistencia no depende directamente del mismo.
Dependencia baja	La comunidad se beneficia del servicio ecosistémico pero su subsistencia no depende directa ni indirectamente del mismo; existen múltiples opciones alternativas para el aprovechamiento del servicio ecosistémico.

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.6.8 Nivel de impacto que el proyecto tendría sobre los servicios ecosistémicos

Para determinar el impacto que el proyecto tendría sobre los servicios ecosistémicos, se utiliza como insumo la información del capítulo 8 Evaluación Ambiental, en su aparte evaluación de impactos con proyecto, específicamente mediante la matriz de análisis de interacciones, clasificando y relacionando los impactos que inciden en la prestación de los servicios ecosistémicos identificados y realizando una calificación de cara a las evaluaciones por etapas y actividades de los impactos de carácter negativo (Irrelevantes, Moderado, Severo y Crítico) y Positivo (Positivo, Positivo Moderado y Positivo Alto) a los que se les dio una calificación Bajo, Medio y Alto. (Véase en la Tabla 2.162).

Tabla 2.162 Criterios de calificación para la matriz de impactos y su correlación con los servicios ecosistémicos

Carácter Positivo		Carácter Negativo		Calificación (+ /- según su naturaleza)		
Positivo irrelevante	Bajo	Irrelevante	Bajo	<-25	-10	-24
Positivo Moderado	Medio	Moderado	Medio	-25 A <50	-25	-49
Positivo Alto	Alto	Severo y crítico	Alto	-50 A -75	-50	-75

Fuente: Integral S.A., 2025

Dado que las calificaciones de impacto se realizaron por actividad, se tuvo en cuenta la calificación más crítica por impacto (moderado o severo). Luego se identificaron las interacciones por servicio ecosistémico y los impactos para así establecer el nivel que el impacto del proyecto sobre los Servicios Ecosistémicos.

2.3.6.9 Nivel de dependencia del proyecto a los servicios ecosistémicos

El nivel de dependencia del proyecto sobre los servicios ecosistémicos se determinó teniendo en cuenta la información relacionada en el Capítulo 3. Descripción del proyecto y en el Capítulo 7 Demanda de recursos naturales, empleando la siguiente escala de valoración evidenciada en la Tabla 2.163.

Tabla 2.163 Criterios para la determinar la dependencia del proyecto a los Servicios Ecosistémicos ofertados por el área del proyecto

Calificación	Descripción
Dependencia Alta	Las actividades que hacen parte integral y central del proyecto y requieren directamente del servicio ecosistémico.
Dependencia Media	Algunas actividades secundarias asociadas al proyecto y dependen directamente del servicio ecosistémico, pero podría ser reemplazado por un insumo alternativo.
Dependencia Baja	Las actividades principales o secundarias no dependen directamentedel servicio ecosistémicos.
Ninguno	No existe dependencia del proyecto sobre el servicio ecosistémico

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.6.10 Tendencia de los servicios ecosistémicos

Para el análisis de las tendencias de los servicios ecosistémicos, se analizaron las variables desarrolladas y propuestas en los TdeR, que son integrantes del análisis final de las tendencias, y que se han descrito en los análisis de: importancia o dependencia a los SSEE por parte de las comunidades, nivel de impacto del proyecto a los SSEE y nivel de dependencia del proyecto a los SSEE.

En este paso se analizan la situación actual y las principales tendencias de la provisión y la demanda de los servicios ecosistémicos seleccionados, con ayuda de cada uno de los aspectos que luego de ser sometidos independientemente a un análisis según las metodologías propuestas: demanda de la población local (condiciones sin proyecto), afectación a los SSEE en términos del impacto ambiental (condiciones con proyecto) y la dependencia del proyecto a los SSEE (la demanda de recursos naturales).

El análisis de tendencias incluye los comportamientos crecientes, estables y decrecientes de los servicios ecosistémicos tal y como lo presenta la Tabla 2.164.

Tabla 2.164 Criterios para la determinar las tendencias de los Servicios Ecosistémicos ofertados por el área del proyecto

Calificación	Descripción
Tendencia decreciente	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico es descendente.
Tendencia estable	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico se mantiene en el nivel registrado actualmente.
Tendencia creciente	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémicos es ascendente.

Fuente: Integral S.A., 2025

Para determinar la tendencia de los servicios ecosistémicos, se propone la asignación de valores numéricos para la interacción de estas tres categorías o momentos de demanda, impacto y dependencia de los servicios ecosistémicos, con calificaciones que van de 0 a 3 puntos, según la afectación (ninguna, baja, media o alta), luego se establecen, según rangos de calificación las tendencias de cada uno de los servicios a partir de la sumatoria y agrupación de los puntajes obtenidos en cada uno de los criterios evaluados, tal y como lo muestra la Tabla 2.165.

Tabla 2.165 Tendencias de los SSEE en el área de influencia del proyecto

Tendencia de los Servicios Ecosistémicos	Alto	Medio	Bajo	Ninguno
Dependencia de las comunidades	3	2	1	0
Impacto del proyecto	3	2	1	0
Dependencia del proyecto	3	2	1	0
Clasificación de la tendencia de los SE				
0 a 3	Tendencia Creciente			
4 a 7	Tendencia Estable			
8 y 9	Tendencia Decreciente			

Fuente: Integral S.A., 2025

Finalmente, se contrasta esta tendencia con las encuestas donde se registra la percepción de las comunidades del estado futuro en 10 años de todos los servicios ecosistémicos evaluados con el fin de verificar que hay trazabilidad en la información.

2.3.7 Metodología Zonificación Ambiental

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, zonificación es acción y efecto de zonificar, y zonificar se define como separar un terreno en zonas; en zonas homogéneas que pueden ser conceptualizadas; así las cosas, la zonificación ambiental, de acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, es “el proceso de sectorización de un área compleja como lo es el área de influencia, en áreas relativamente homogéneas de acuerdo a las características y a la sensibilidad ambiental de los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico”. (ANLA_MADS, 2018, p. 164). En ese orden de ideas la zonificación ambiental es el resultado de la tipificación o estandarización de la línea base en términos de sensibilidad que permita conceptualizar cada polígono bajo atributos específicos.

La metodología que se propone utiliza la información considerada en la caracterización abiótica, biótica y socioeconómica, la cual ha sido debidamente colectada, interpretada, sectorizada y geo-referenciada a una escala adecuada, proporcionando un mapa síntesis que abstrae y ubica los diferentes sectores con sus respectivos grados de restricción para la planeación de los proyectos. El desarrollo de la zonificación se basa en los siguientes procesos:

- Agrupación y georeferenciación de atributos. Entiéndase como atributos a las unidades definidas por los especialistas en cada uno de los diferentes componentes ambientales. Como producto se obtienen los mapas temáticos iniciales.
- Superposición de la información contenida en cada uno de los mapas temáticos usando sistemas de información geográfica (SIG), en donde se utiliza el cruce, superposición y ponderación de los diferentes niveles de sensibilidad ambiental que han sido identificados en cada uno de los atributos considerados en los mapas temáticos.
- Obtención de mapas de zonificación intermedios en cada uno de los componentes ambientales analizados (abiótico, biótico, socioeconómico).
- Superposición ponderada de los mapas intermedios para obtener la zonificación ambiental general del área en la cual se realiza el proyecto, en un mapa síntesis donde se determina el grado de sensibilidad ambiental de cada lugar o sitio comprendido dentro del área de estudio.
- Superposición de la zonificación ambiental general obtenida de los mapas intermedios de los medios (abiótico, biótico, socioeconómico) y del mapa de elementos especiales, dando como resultado la Zonificación ambiental final clasificada en varios niveles de sensibilidad Muy Baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta.

La metodología para la zonificación ambiental del área de influencia del proyecto considera en cada una de las unidades de zonificación las siguientes categorías de sensibilidad:

- Áreas de exclusión minera determinado de pleno derecho por la ley en el artículo 34 de la Ley 685 de 2001 y sus modificaciones por otras leyes
- Áreas restringidas para la minería de acuerdo con el artículo 35 de la ley 685 de 2001 y sus modificaciones por otras leyes
- Áreas de especial importancia ecológica, tales como áreas naturales protegidas públicas o privadas, ecosistemas estratégicos, rondas hidrográficas, corredores biológicos, presencia de zonas con especies endémicas, amenazadas (en peligro, en peligro crítico y vulnerables) de acuerdo con la Resolución 192 de 2014 o aquella norma que la modifique, sustituya o derogue, áreas de importancia para cría, reproducción, alimentación y anidación y zonas de paso de especies migratorias.

- Instrumentos de ordenamiento/planificación (p. e. POMCAS, PORH), así como otras áreas de reglamentación especial.
- Áreas de recuperación ambiental tales como áreas erosionadas, de conflicto por uso del suelo o contaminadas.
- Áreas de riesgo natural (hidrometeorológico y geológico), susceptibles a deslizamientos, inundaciones, movimientos de remoción en masa, procesos erosivos, entre otros, establecidas a nivel nacional, regional y local.
- Áreas de inversión estatal para conservación y/o protección de Microcuencas, ya sea adquiridas para tal fin o con reforestación o protección de suelos
- Áreas de producción económica tales como ganaderas, agrícolas, mineras, entre otras.
- Áreas de importancia social tales como asentamientos humanos, de infraestructura física y social y de importancia histórica y cultural

La zonificación ambiental se realizó para los medios físico, biótico, socioeconómico y cultural de las áreas que son de interés para la ejecución o desarrollo de la **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, conforme a los atributos, parámetros y ponderaciones que se presentan a continuación:

- La zonificación ambiental del medio abiótico busca integrar espacialmente variables consideradas de mayor significancia, a saber: estabilidad geotécnica, susceptibilidad por remoción en masa, susceptibilidad a la erosión, vulnerabilidad de acuíferos, mancha de inundación, conflicto de uso del suelo y avenidas torrenciales. Dichas variables se pueden materializar a partir de la caracterización de los aspectos geológicos, geomorfológicos, edafológicos, pendientes del terreno, clima local e hidrología de la región en estudio.
- En el medio biótico se ha considerado la distribución espacial que presenta el componente cobertura vegetal y la fauna silvestre asociada a los diferentes tipos de cobertura vegetal que se hayan identificado y sectorizado dentro del área de influencia del proyecto y otros atributos de esta como los ecosistemas acuáticos, y la conectividad funcional. Para este ejercicio se utilizaron las coberturas de la tierra, como unidad temática de calificación, así como, los resultados de modelos de conectividad funcional.
- Para el medio socioeconómico se tuvieron en cuenta las áreas de importancia social tales como: actividad económica, infraestructura física y social – asentamientos humanos, áreas de importancia histórica y cultural, población en el plan de acción de reasentamiento y áreas con valor paisajístico.

Para precisar la sensibilidad ambiental en cada uno de los componentes, se calculó la fragilidad ecológica o importancia ecosistémica que cada variable representa. Es decir, dicha medición se efectuó con un índice de sensibilidad ambiental parcial (ISApi). La mayor o menor sensibilidad dependió del estado y/o de las condiciones actuales, que son particulares del área de influencia.

Para cada variable se dispuso una calificación en cinco rangos de sensibilidad, así: muy baja (1), baja (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). (véase Tabla 2.166).

Para fijar la zonificación intermedia se usaron variables caracterizadas durante los estudios de la línea base y que permiten su espacialización geográfica. Esto se hace para generar mapas que definen dicha zonificación.

Posterior a obtener la sensibilidad ambiental, se procedió a hacer la suma algebraica en la que se asigna o no un peso a cada variable. Esto con el fin de calcular la sensibilidad ambiental de cada medio que concierne a la zonificación ambiental intermedia.

Con base en esto, la sensibilidad ambiental del área de influencia se obtuvo a partir de la superposición de todas las sensibilidades de los componentes del medio. Es decir, con base en la suma algebraica de cada una de las sensibilidades parciales (ISApi), como se presenta en la siguiente fórmula:

$$ISAu = \sum_{i=1}^{10} ISAp_i(p_i)$$

Donde:

ISAu = Índice de sensibilidad ambiental unificada por medio.

ISAp = Índice de sensibilidad ambiental parcial.

pi* = Peso específico o ponderación del componente ambiental.

* Se puede asignar o no un peso específico a cada una de las variables

Luego de fijar el álgebra de mapas en cada medio se hizo una reclasificación de los datos. Esto para obtener los nuevos rangos de sensibilidad unificada por medio.

Por último, se realizó la superposición de las capas de sensibilidades unificadas de los medios. Esto teniendo en cuenta los rangos que permitieron obtener la zonificación ambiental intermedia, que concierne a la síntesis del territorio. Es importante señalar que para el Índice de sensibilidad ambiental unificada final se realizó la división en el número de capas que se superpongan, para después ser reclasificados, considerando que las tres capas (abiótica, biótica y socioeconómica) manejan áreas diferentes.

Con el objeto de tener condiciones de sensibilidad ambiental similares, se establecieron los siguientes rangos numéricos, así:

Tabla 2.166 Rangos numéricos de sensibilidad

Nivel de sensibilidad	Escala
Muy Baja	1
Baja	2
Moderada o Media	3
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: Integral S.A., 2025

Las ponderaciones o calificaciones de cada uno de los parámetros considerados en este proyecto se efectúan con fundamento en el conocimiento, experticia y criterio de cada uno de los especialistas de acuerdo con lo establecido en la caracterización de cada medio, de tal manera que cada medio o componente será medido bajo el mismo criterio y escala de valores.

2.3.8 Metodología Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recurso naturales

Este ítem se construyó a partir de la descripción de la demanda de recursos naturales requeridos para el desarrollo del proyecto, así como de la disponibilidad de estos recursos en el área de influencia. Se incluyó la información específica con el fin de solicitar los respectivos permisos de uso, aprovechamiento y/o afectación, para que éstos queden implícitos en la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto.

2.3.8.1 Aguas superficiales

Las solicitudes nuevas o de modificaciones de las concesiones de agua se presentan suministrando a la entidad la información necesaria para dar cumplimiento a lo solicitado por Capítulo 2, Titulo 3, Parte 2, Libro 2 del Decreto 1076 de 2015 y el Formato Único Nacional para Permiso de Aguas Superficiales, donde se solicita la información sobre el cauce y la infraestructura con la cual se va a captar, información que se resume a continuación:

a. Caudal de aguas solicitado en l/s.
b. Identificación de la fuente de acuerdo con las clasificaciones establecidas en el Registro Único de Recurso Hídrico.
c. Las coordenadas que georreferencian en el punto de concesión en coordenadas MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL.
d. Predio en donde se ubica o será ubicada la infraestructura.
e. Análisis de los conflictos actuales y potenciales sobre la disponibilidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta el análisis hidrológico de caudales mínimos; así como el inventario y cuantificación aguas abajo de la captación hasta el límite del área de influencia del componente hidrológico, de los usos y usuarios registrados, de acuerdo con la caracterización del recurso hídrico superficial presentado en la línea base ambiental para el componente hidrológico (oferta hídrica total, oferta hídrica disponible y caudal ambiental).
f. Para cada punto a intervenir, se realizó el análisis de: Índice de Uso de Agua (IUA), índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) el Índice de Regulación Hídrica (IRH).
g. Se presentan los diseños de las estructuras de captación cumpliendo con lo solicitado por Decreto 1575 de 2007 y a la Resolución 2115 de 2007 y la resolución 330 Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento.

2.3.8.2 Aguas subterráneas

Se realiza la revisión de la información existente y análisis necesarios para la solicitud de modificación de la temporalidad del permiso de concesión de agua subterránea ya autorizado.

2.3.8.3 Vertimientos

El permiso de vertimiento se desarrolló con base en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), capítulo 7.3, TdR-17 (2018), así como en lo establecido en la Guía de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018).

La metodología para la obtención del permiso contempla varias fases:

- Fase de calibración hidráulica: Se realizó con información hidrológica, hidráulica, climática, topográfica y muestreos de calidad de agua, entre otros insumos.
- Fase de calibración de calidad del agua: Se llevó a cabo con los datos obtenidos en la primera campaña de monitoreo (febrero de 2025).
- Fase de validación del modelo: Se buscó representar, mediante la configuración calibrada, los valores medidos en la segunda campaña de monitoreo (mayo de 2025).

Estas fases se aplicaron tanto al río Nus como a los cauces donde se ubican los sedimentadores del Banco, San Antonio y La Colorada.

Finalmente, se desarrolló una fase de análisis de resultados, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 en los puntos de vertimiento. Para ello, se simularon escenarios proyectados sobre las quebradas, analizando el diseño de los

sedimentadores y sus canales de descarga, y estimando la calidad de las aguas que llegarían al río Nus, incluyendo la descarga proveniente de la PTAR de la mina.

2.3.8.3.1 Calibración del Modelo Hidráulico

En la modelación hidráulica se evaluó el comportamiento hidráulico de los tramos de estudio a través de la implementación de un modelo unidimensional en QUAL2Kw (versión 5.1), desarrollado por Chapra y Pelletier para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 2008.

El modelo realiza una caracterización hidráulica detallada de los afluentes, mediante la segmentación de los tramos de estudio y una combinación de datos de entrada y relaciones empíricas, logrando caracterizar la variación espacial y temporal de la velocidad, profundidad del agua y las principales propiedades hidráulicas en cada tramo o sector de análisis. Estos valores se utilizan como base para luego simular los procesos de transporte y reacción que afectan la calidad del agua.

A. Generalidades

Para los diferentes afluentes modelados, se definieron secciones cuyo espaciamiento cubriera la longitud de interés y los puntos de monitoreo realizados en campo, adicionalmente, se garantizó que no existieran transiciones abruptas entre secciones, evitando de esta forma posibles inestabilidades del flujo.

Para la calibración de los n de Manning se tuvieron en cuenta los valores de caudal, velocidad y profundidad medidos en campo en la época seca (febrero de 2025), con el fin de determinar un n teórico que se acercara a los valores medidos.

B. Aforos en los puntos de muestreo

Para la calibración del modelo hidráulico, se utilizaron los resultados de la primera campaña de monitoreo, desarrollada entre el 17,18,19 y 28 de febrero de 2025, que permitieron verificar para los diferentes afluentes tres o más sitios de interés, con el objetivo que el modelo represente adecuadamente la realidad física del sistema analizado Los tres puntos siempre fueron tomados uno aguas arriba del sitio de vertimiento, uno en el sitio y uno aguas abajo del sitio de vertimiento, en el caso del río Nus que es donde verterán todos sedimentadores por medio de los canales naturales aprovechados como canales de entrega y la PTAR que entregará por medio de una tubería de descarga, se levantaron los afluentes más relevantes en el cauce.

Se analizó la profundidad media y máxima del flujo, velocidad media, área mojada y ancho superficial. se aclara que el parámetro con el cual se garantizó la correcta selección de este coeficiente fue el tiempo medio de viaje obtenido en campo.

En cuanto a la validación del modelo hidráulico, los resultados de la segunda campaña de monitoreo, desarrollada en mayo de 2025, permitieron verificar en los sitios de interés si el modelo representa adecuadamente la realidad física del sistema analizado. Se analizó la profundidad media y máxima del flujo, velocidad media, área mojada y ancho superficial.

En ANEXOS_DEMANDA_VERTIMIENTOS_7_00_CampanasMonitoreo se presentan los resultados obtenidos para los aforos realizados por GOTTA Ingeniería durante las dos campañas de monitoreo, información que se utilizó para la calibración del modelo hidráulico.

C. Caudales Aforados

Los caudales utilizados para la modelación hidráulica se subdividen en dos grupos: (1) para la Línea Base se utilizaron los caudales aforados en campo durante el desarrollo de las campañas de monitoreo, y (2) para la modelación de los escenarios se utilizaron los caudales

medios y los caudales máximos y mínimos estimados para el periodo de retorno de 2,33 años. Particularmente para los sedimentadores en el escenario de caudales máximos se utilizaron los caudales medios multianuales de los meses de invierno (marzo, abril, mayo, septiembre, octubre, noviembre).

D. Curvas de calibración

En este ítem se presentan las curvas de calibración de profundidad, área mojada, perímetro mojado, ancho superficial, velocidad media y velocidad máxima en función del caudal. Estas curvas fueron construidas a partir de los resultados de la modelación, donde se tuvo en cuenta el ancho del cauce en el periodo seco, y las propiedades del flujo y rugosidades para bajas alturas de flujo donde cualquier pequeña protuberancia en el cauce puede ser una obstrucción.

2.3.8.3.2 Modelo de calidad de Aguas

Como se mencionó en el Ítem anterior, en la modelación de la calidad del agua, se implementó un modelo unidimensional en QUAL2Kw (versión 5.1), desarrollado por Chapra y Pelletier para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 2008, con el fin de estimar la capacidad de asimilación de los afluentes de interés.

A. Protocolo de Modelación

El protocolo de modelación garantiza claridad durante la ejecución de los procesos de modelación de calidad de aguas, y permite desarrollar efectivamente cada una de las actividades planteadas. Durante el proceso de modelación de calidad de aguas, se contempló como punto de partida el protocolo de modelación propuesto en la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales (MADS, 2018). El esquema propuesto fue adaptado y complementado de acuerdo con las particularidades y necesidades de este estudio, como se presenta en la Figura 2.65.

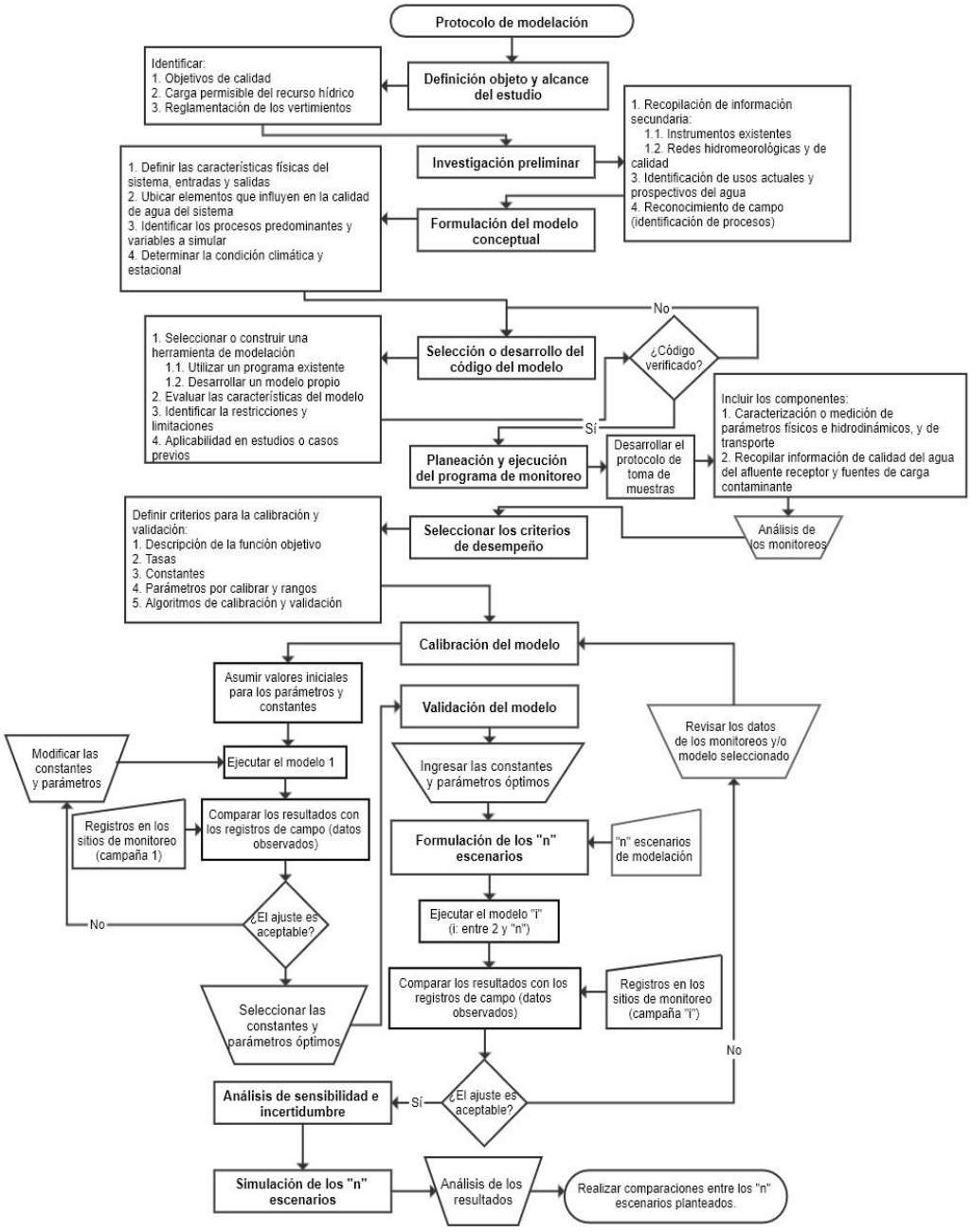


Figura 2.65 Protocolo de modelación de calidad de aguas

Fuente: Integral S.A., 2025, adaptado de MinAmbiente, 2018

B. Modelo conceptual y procesos fisicoquímicos y biológicos dominantes del sistema

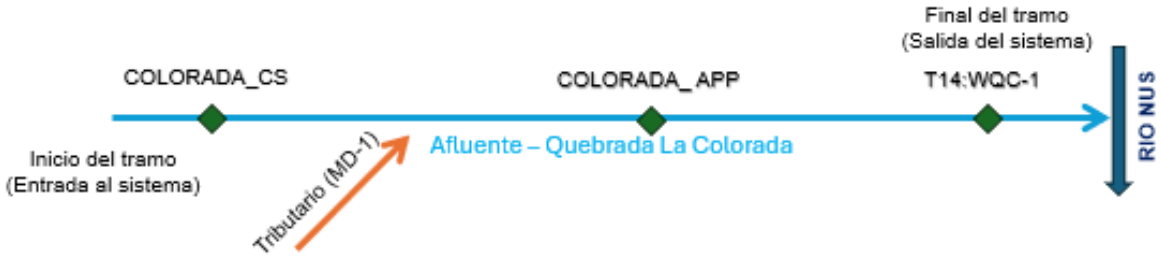
Previo a la construcción e implementación del modelo de calidad de aguas, debe existir claridad de las entradas y salidas del sistema, además de las fuentes, sumideros y procesos físico – químicos y biológicos dominantes del sistema a modelar; procesos que intervienen en la dinámica de modelación de la calidad del agua. El modelo conceptual corresponde a un esquema con el cual se representa el sistema a modelar, indicando las entradas, salidas, puntos de monitoreo y segmentación del cuerpo de agua receptor, como se observa Figura 2.66.



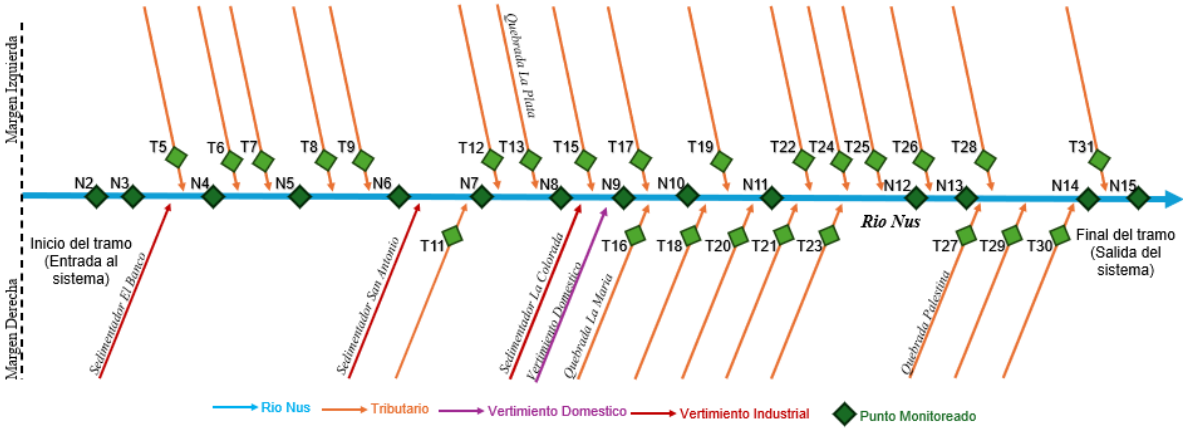
a) Quebrada El Banco



b) Afluente – Quebrada San Antonio



c) Afluente – Quebrada La Colorada



d) Río Nus

Figura 2.66 Entradas y Salidas de los sistemas a modelar en las quebradas con sedimentadores y el Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025

Las fuentes y sumideros de las variables de estado consideradas por el modelo QUAL2Kw, se pueden observar Figura 2.67 al igual que los procesos fisicoquímicos y biológicos

dominantes del sistema. Los símbolos utilizados en el esquema se presentan en la Tabla 2.167.

Dentro de los procesos cinéticos considerados por el QUAL2Kw se incluyen: ds: disolución; h: hidrólisis; ox: oxidación; n: nitrificación; dn: desnitrificación; p: fotosíntesis; d: muerte; r: respiración, excreción. Entre los procesos de transferencia de masa se consideran: re: reaireación; s: sedimentación, SOD: demanda de oxígeno por sedimentos; se: intercambio de sedimentos; cf: flujo de carbono inorgánico de los sedimentos (Pelletier & Chapra, 2008).

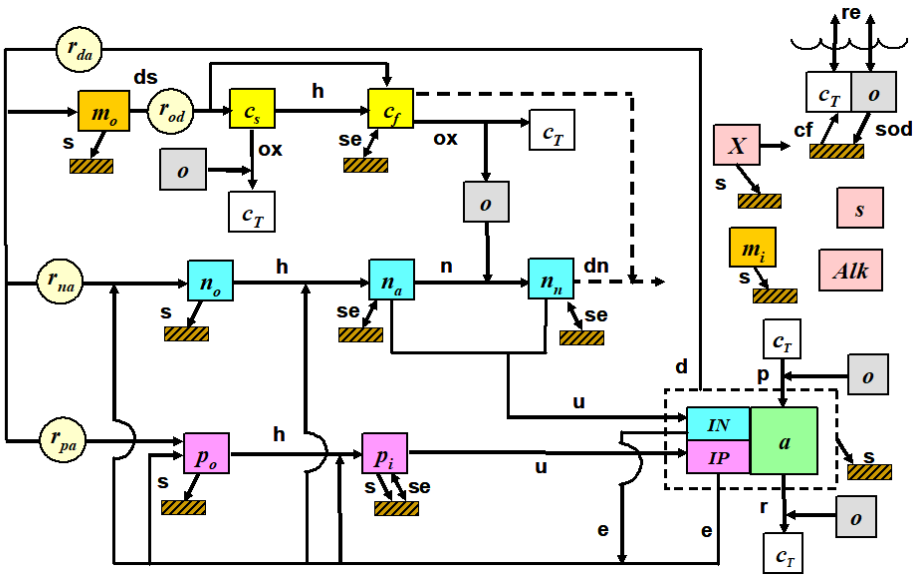


Figura 2.67 Modelos cinéticos y procesos de transferencia de masa

Fuente: Pelletier & Chapra, 2008

Tabla 2.167 Variables de estado del modelo

Determinante	Símbolo	Unidades
Conductividad	s1, s2	µmhos
Sólidos suspendidos totales	mi,1, mi,2	mgD/L
Oxígeno disuelto	o1, o2	mgO2/L
DBO lenta	cs,1, cs,2	mg O2/L
DBO rápida	cf,1, cf,2	mg O2/L
Nitrógeno orgánico	no,1, no,2	µgN/L
Nitrógeno amoniacal	na,1, na,2	µgN/L
Nitratos	nn,1, nn,2	µgN/L
Fósforo orgánico	po,1, po,2	µgP/L
Fósforo inorgánico	pi,1, pi,2	µgP/L
Fitoplancton	ap,1, ap,2	µgA/L
Detrito	mo,1, mo,2	mgD/L
Patógenos	x1, x2	cfu/100 mL
Constituyente arbitrario (DQO)	gen1, gen2	user defined
Alcalinidad	Alk1, Alk2	mgCaCO3/L
Carbón inorgánico total	cT,1, cT,2	mole/L
Algas del fondo	ab,ah	gD/m2
Demanda de nitrógeno por las algas del fondo	INb	mgN/m2
Demanda de fósforo por las algas del fondo	IPb	mgP/m2

Fuente: Pelletier & Chapra, 2008

C. Selección y descripción del modelo de calidad de aguas

Siguiendo el protocolo de modelación descrito en la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales (MADS, 2018),fue seleccionado el código de modelación más apropiado para dar respuesta al objeto y alcance del estudio, y que por sus características representa de manera acertada los fenómenos hidrodinámicos y de calidad del agua del cuerpo de agua estudiado.

Fue verificado, igualmente, que estuviese debidamente documentado, y que su utilización en diversos estudios haya dado resultados satisfactorios. Asimismo, su aplicación debe estar respaldada por la academia y por las autoridades y corporaciones ambientales.

Para la selección del modelo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Objeto y/o alcance del estudio.
- Dimensión espacial: unidimensional.
- Escala del sistema: cuenca o tramo.
- Tipo: agregado o distribuido.
- Cargas contaminantes: distribuidas o puntuales.
- Estable o dinámico en el tiempo.
- Determinantes de calidad de agua que modela: temperatura del agua, nutrientes pertenecientes a los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo y carbono, constituyentes conservativos y no conservativos (tasas de decaimiento o crecimiento). Además, se debe analizar si considera la reducción de la concentración de contaminantes por el efecto de entradas de flujo al sistema.
- Características generales del modelo de simulación: variables de estado, procesos fisicoquímicos y biológicos dominantes del sistema.
- Aprovechamiento de la información hidrológica, hidrodinámica, climatológica y de calidad del agua disponible.

El modelo de calidad de aguas seleccionado fue QUAL2Kw, el cual integra los parámetros de interés, y permite la estimación de los impactos derivados de los vertimientos en función de la capacidad de asimilación del sistema analizado (cuerpo de agua receptor).

D. Características generales del modelo numérico QUAL2Kw

El QUAL2Kw realiza la modelación en la dirección del flujo de la corriente, siendo unidimensional, por lo que el cauce de interés es considerado vertical y lateralmente bien mezclado.

Incluye la simulación en el módulo de calidad para los siguientes determinantes: conductividad, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, DBO rápida, DBO lenta, nitrógeno orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, fitoplancton, detritos (materia orgánica particulada), patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, algas del fondo, pH y temperatura del agua, entre otros.

Es preciso mencionar que todas las concentraciones contaminantes (C) son constantes, por lo que dC/dt = 0, y la escala del tiempo de simulación de las variables de calidad es diaria. El pH en el cuerpo de agua analizado se calcula a partir de los valores de alcalinidad y carbono inorgánico total disponible.

Algunas ventajas del modelo seleccionado son las siguientes.

- El modelo es capaz de representar las entradas puntuales de caudales y cargas contaminantes, al igual que las distribuidas.
- Tiene en cuenta la interacción entre los sedimentos del lecho y columna de agua.
- Integra un módulo de auto calibración implementado un algoritmo genético.
- Fácil aplicabilidad, puesto que presenta su interfaz gráfica en Excel.
- En la modelación de calidad del agua, existen fuentes de incertidumbre dadas las hipótesis planteadas por cada modelo. En particular dadas las consideraciones del modelo QUAL2Kw, existen algunas limitaciones:
    - Su aplicación se limita a corrientes de agua en las cuales se presente flujo permanente no uniforme (Pelletier & Chapra, 2008).
    - El caudal entrante y saliente en cada uno de los tramos simulados (elemento computacional) se mantiene contante a través del tiempo (Pelletier & Chapra, 2008).
    - El modelo calcula las ecuaciones de transporte y el fenómeno de difusión en una dimensión (1D), por lo que únicamente es aplicable en las corrientes que presenten mezcla vertical y lateral (Pelletier & Chapra, 2008).
    - Modela el río principal, receptor de los vertimientos, no evalúa la calidad de agua en los tributarios, estos últimos se añaden como fuentes puntuales (Pelletier & Chapra, 2008).
    - No representa cargas variables de los contaminantes en los vertimientos.
    - La modelación en ríos con hidrodinámicas y topografía complejas puede verse limitada, lo anterior se debe a que simplifica la geometría del cauce, y por lo tanto no considera las irregularidades propias de un cuerpo de agua natural, islas y demás.
    - Solo permite el ingreso de un constituyente arbitrario, por lo que se limita a los determinantes de calidad que incluye por defecto.

E. Ecuaciones de las variables de estado

El balance de masa en el modelo considera el “elemento computacional” como unidad fundamental, tal y como se indica en la Figura 2.68, aplicando para cada constituyente la ecuación general de balance (ver Ecuación 2.107). Esta considera los fenómenos de transporte: dispersión, difusión y advección, la generación o pérdida de los nutrientes por fuentes (internas o externas), consumo o generación de los determinantes por reacciones químicas o bioquímicas (Pelletier & Chapra, 2008).

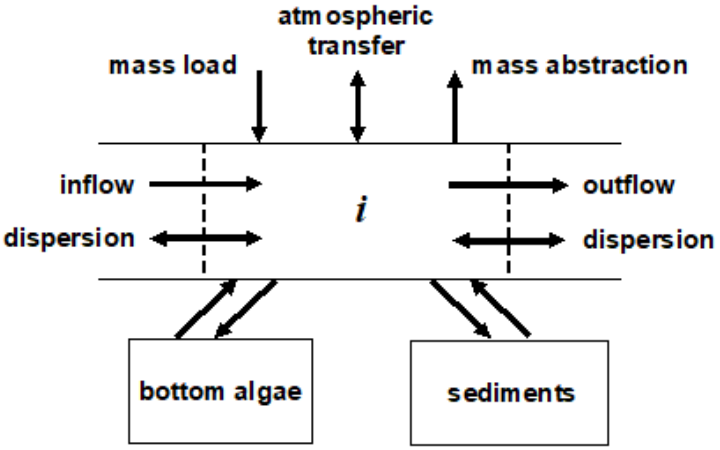


Figura 2.68 Esquema de balance de masas

Fuente: (Pelletier & Chapra, 2008)

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i} - c_i)$$

Ecuación 2.107 Ecuación general de balance de masas

Donde:

Qi: caudal de salida desde el tramo i hacia el tramo aguas abajo i + 1 (m3/d).

Qi–1: caudal de entrada al tramo i desde el tramo aguas arriba i – 1 (m3/d).

Vi: velocidad en el tramo i (m/d).

Ci: concentración de salida desde el tramo i hacia el tramo aguas abajo i + 1 (depende del determinante modelado).

Ci–1: concentración de entrada al tramo i desde el tramo aguas arriba i – 1 (depende del determinante modelado).

Qab,i caudal total de salida considerando las abstracciones puntales y difusas (m3/d).

E'i = coeficiente de dispersión entre los tramos i and i + 1 (m2/d).

E'i-1 = coeficiente de dispersión entre los tramos i - 1 and i (m2/d).

Wi: carga contaminante del determinante ingresado al sistema (g/d o mg/d)

Si: fuentes y sumideros del determinante analizado (g/m3/d o mg/m3/d).

E'hyp,i: intercambio másico entre la lámina de agua y la zona hiporréica en el tramo i (m3/d).

C2,i: concentración en la zona hiporréica (depende del determinante modelado).

- Temperatura

El balance térmico del sistema de análisis considera la transferencia de calor de tramos adyacentes, aportes y abstracciones, el intercambio con la atmósfera y los sedimentos; la expresión se indica en la Ecuación 2.108 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i}(T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i}\left(\frac{m^3}{10^6\ \mathbf{cm}^3}\right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{m}{100\ \mathbf{cm}}\right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{m}{100\ \mathbf{cm}}\right)$$

Ecuación 2.108 Balance térmico del sistema

Donde:

T_i: temperatura en el tramo i (oC).

t: tiempo (d).

$W_{h,i}$: carga neta de calor ingresado al sistema por fuentes puntuales y difusas al tramo i (cal/d).

ρ_w: densidad del agua (g/cm^3).

C_{pw} = calor específico del agua (cal/(g oC)).

$J_{h,i}$ = flujo de calor aire-agua (cal/(cm^2 d)).

$J_{s,i}$ = flujo de calor sedimento-agua (cal/(cm^2 d)).

- Oxígeno disuelto

La concentración del oxígeno disuelto aumenta debido al proceso de fotosíntesis de las algas. Un sumidero de este determinante es la oxidación de la CDBO rápida y lenta, la nitrificación, y oxidación de la DQO no carbonosa y no nitrogenada (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_o = r_{oa}(\text{PhytoPhoto-PhytoResp}) + r_{od}(\text{BotAlgPhoto-BotAlgResp})\frac{A_{st,i}}{V_i} - r_{oc}\text{FastCOxid} - r_{oc}\text{SlowCOxid} - r_{on}\text{NH4Nitr} + \text{OxReaer} - \text{CODoxid} - \text{SOD}\frac{A_{st,i}}{V_i}$$

Ecuación 2.109 Fuentes y sumideros para el oxígeno disuelto (OD)

Donde:

PhytoPhoto: fotólisis por el fitoplancton.

PhytoResp: respiración por el fitoplancton.

BotAlgPhoto: fotosíntesis de las algas del lecho.

BotAlgResp: respiración por las algas del lecho.

FastCOxid: oxidación de la DBO rápida.

SlowCOxid: oxidación de la DBO lenta.

NH4Nitr: nitrificación del nitrógeno amoniacal.

OxReaer: reaireación del OD.

CODoxid: oxidación de la DQO.

SOD: demanda de OD por parte de los sedimentos.

$A_{st,i}$: área superficial en el tramo i (m^2).

$r_{oa}, r_{od}, r_{oc}, r_{on}$,: coeficientes estequiométricos.

- Detritos (POM)

Los detritos o la materia orgánica particulada (POM) aumenta debido a la muerte de las plantas, y los sumideros de este determinante se debe a la disolución y sedimentación, como se presenta en la Ecuación 2.110 (Pelletier & Chapra, 2008).

$$S_{mo} = r_{da}\,\text{PhytoDeath} + \text{BotAlgDeath} - \text{DetrDiss} - \text{DetrSettl},\ \text{DetrDiss} = k_{dt}(T)m_o,\ \text{DetrSettl} = \frac{v_{dt}}{H}m_o$$

Ecuación 2.110 Fuentes y sumideros para los detritos (POM)

Donde:

PhytoDeath: muerte del fitoplancton.

BotAlgDeath: muerte de las plantas del fondo.

DetrDiss: disolución de la materia orgánica particulada.

DetrSettl: sedimentación de la materia orgánica particulada.

- DBO5

La hidrólisis de la DBO lenta corresponde a una fuente de la DBO rápida (DBO5), y los sumideros de este determinante corresponden a los procesos de oxidación y desnitrificación, ver Ecuación 2.111 (Pelletier & Chapra, 2008).

$$S_{cf} = \mathbf{SlowCHydr} - \mathbf{FastC} \rightleftarrows \mathbf{Oxid} - r_{ondn}\mathbf{Denitr} + J_{\mathbf{CH4,d}}\frac{A_{st,i}}{V_i},\quad \mathbf{FastCOxid} = F_{oxcf}\,k_{dc}(T)c_f$$

Ecuación 2.111 Fuentes y sumideros para la DBO rápida (DBO5)

Donde:

SlowCHydr: hidrólisis de la DBO lenta.

FastCOxid: oxidación de la DBO rápida.

$\boldsymbol{k_{dc}(T)}$: tasa de oxidación de la DBO, dependiente de la temperatura (1/día).

$\boldsymbol{F_{oxcf}}$: atenuación debido a la baja concentración del OD.

c_f: concentración de la DBO rápida.

$\boldsymbol{r_{ondn}}$: relación del OD equivalente a la pérdida por desnitrificación de los nitratos.

Denitr: tasa de desnitrificación (µgN/l/d).

$J_{\mathrm{CH4,d}}$: aporte de metano disuelto en equivalentes de OD por los sedimentos (gO2/m2/d).

- Constituyente genérico (DQO)

El constituyente genérico puede ser modelado o no, el QUAL2Kw brinda la opción de representarlo como la demanda química de oxígeno no carbonosa y no nitrogenada (DQO). Si este constituyente es asumido como DQO, entonces el sumidero de este corresponde a la tasa de oxidación, ver Ecuación 2.112 (Pelletier & Chapra, 2008).

$$\mathbf{CODoxid} = k_{gen}(T)gen$$

Ecuación 2.112 Sumidero para la DQO

Donde:

$k_{gen}(T)$: tasa de decaimiento o degradación de la DQO, dependiente de la temperatura (1/día).

gen: concentración de la DQO (mg O_2/l).

- Nitrógeno Orgánico

La concentración del nitrógeno orgánico incrementa por la muerte de las plantas, y los principales sumideros se deben por los procesos de hidrólisis y sedimentación, como se indica en la Ecuación 2.113 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{no} = r_{na}\text{PhytoDeath} + q_N\ \text{BotAlgDeath} - \text{ONHydr} - \text{ONSettl}$$

Ecuación 2.113 Fuentes y sumideros para el nitrógeno orgánico

Donde:

PhytoDeath: muerte del fitoplancton.

BotAlgDeath: muerte de las plantas del fondo.

ONHydr: hidrólisis del nitrógeno orgánico.

ONSettl: sedimentación del nitrógeno orgánico.

- Nitrógeno Amoniacal

Los procesos que sirven como fuente para el nitrógeno amoniacal son la hidrólisis del nitrógeno orgánico y la respiración del fitoplancton. Los sumideros de este determinante corresponden a la nitrificación y fotosíntesis de las plantas, como se indica en la Ecuación 2.8 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{na} = \text{ONHydr} + r_{na}\ \text{PhytoResp} - \text{NH4Nitrif} - r_{na}P_{ap}\ \text{PhytoPhoto} + [J_{\text{NH4}} - P_{ab}\ \text{BotAlgUptakeN (NUpWCfrac)}]\frac{A_{st,i}}{V_i}$$

Ecuación 2.114 Fuentes y sumideros para el nitrógeno amoniacal

Donde:

ONHydr: hidrólisis del nitrógeno orgánico.

PhytoResp: respiración por el fitoplancton.

PhytoPhoto: fotólisis por el fitoplancton.

NH4Nitrif: nitrificación del nitrógeno amoniacal.

NUpWCfrac: fracción de nitrógeno absorbido desde la columna de agua por las plantas del fondo.

- Nitratos

Los nitratos aumentan su concentración por el proceso de nitrificación del nitrógeno amoniacal (fuente), siendo un sumidero la desnitrificación y fotosíntesis de las algas, ver Ecuación 2.115 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{ni} = \mathbf{NH4Nitrif} - \mathbf{Denitr} - r_{na}(1 - P_{ap})\ \mathbf{PhytoPhoto} + [J_{\mathbf{NO3}} - (1 - P_{ab})\ \mathbf{BotAlgUptakeN(NUpWCfrac)}]\frac{A_{st,i}}{V_i}$$

Ecuación 2.115 Fuentes y sumideros para los nitratos

Donde:

NH4Nitrif: Nitrificación del nitrógeno amoniacal.

BotAlgUptakeN: tasa de absorción de nitrógeno por acción de las algas presentes en el lecho (mgN/m^2/d).

NUpWCfrac: fracción de nitrógeno captado por las algas presentes en el lecho.

$\boldsymbol{P_{ap}}$: preferencia del nitrógeno amoniacal como fuente de nitrógeno para el fitoplancton.

$\boldsymbol{P_{ab}}$: preferencia del nitrógeno amoniacal como fuente de nitrógeno para las algas presentes en el lecho.

J_{NO3}: aporte de nitratos por los sedimentos (mgN/m^2/d)

$k_{dn}(T)$: tasa de desnitrificación del nitrato, dependiente de la temperatura (1/día).

F_{oxdn}: efecto de las bajas concentraciones de OD en la desnitrificación.

- Fosforo Orgánico

La concentración del fósforo orgánico incrementa debido a la muerte de las plantas, y decae por los procesos de hidrólisis y sedimentación, tal y como se indica en la Ecuación 2.116 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{po} = r_{pa}\mathrm{PhytoDeath} + q_P\ \mathrm{BotAlgDeath} - \mathrm{OPHydr} - \mathrm{OPSettl}$$

Ecuación 2.116 Fuentes y sumideros para el fósforo orgánico

Donde:

PhytoDeath: muerte del fitoplancton.

BotAlgDeath: muerte de las plantas del fondo.

OPHydr: hidrólisis del fósforo orgánico.

OPSettl: sedimentación del fósforo orgánico.

- Fosforo Inorgánico

La hidrólisis del fósforo orgánico y respiración por fitoplancton corresponden a fuentes del fósforo inorgánico, disminuyendo su concentración por la fotosíntesis de las algas. Además, se incluye la pérdida por sedimentación en los casos donde este determinante decrece por la sorción al material particulado y sedimentable, ver Ecuación 2.117 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{pi} = \mathrm{OPHydr} + r_{pa}\mathrm{PhytoResp} - r_{pa}\mathrm{PhytoPhoto} - \mathrm{IPSettl} + [J_{\mathrm{PO4}} - \mathrm{BotAlgUptakeP(PUpWCfrac)}]\frac{A_{st,i}}{V_i}$$

Ecuación 2.117 Fuentes y sumideros para el fósforo inorgánico

Donde:

OPHydr: hidrólisis del fósforo orgánico.

IPSettl: sedimentación del fósforo inorgánico.

JPO4: aporte de fósforo inorgánico por los sedimentos (mgN/m2/d)

BotAlgUptakeP: tasa de absorción de fósforo por acción de las algas presentes en el lecho (mgN/m2/d).

PUpWCfrac: fracción de fósforo captado por las algas presentes en el lecho

- Patógenos

Los patógenos son propensos a decaer en aguas naturales, por los procesos de extinción (natural o por la incidencia de la radiación solar en el cuerpo de agua analizado) y sedimentación, ver Ecuación 2.118 (Pelletier & Chapra, 2008).

$$\boldsymbol{S_x} = -\text{PathDeath} - \text{PathSettl}$$

$$\text{PathDeath} = k_{dx}(T)x + \alpha_{path}\frac{I(0)/24}{k_e H}(1 - e^{-k_e H})x, \ \text{PathSettl} = \frac{v_x}{H}x$$

Ecuación 2.118 Sumideros para los patógenos

Donde:

PathDeath: extinción de los patógenos.

PathSettl: sedimentación de los patógenos.

$k_{dx}(T)$: tasa de extinción de patógenos (1/día).

α_{path}: constante de extinción de patógenos por la incidencia de la radiación solar en el cuerpo de agua (día-1 por ly/hora).

I(0): radiación solar (cal/cm2/d).

k_e: coeficiente de extinción por la incidencia de la radiación solar (1/m)

v_x = velocidad de sedimentación de los patógenos (m/d).

- Ph

Las ecuaciones de equilibrio, balance de masas y electroneutralidad indicadas a continuación son consideradas para la modelación de aguas superficiales donde predomina el carbono inorgánico. Ver Ecuación 2.119 (Pelletier & Chapra, 2008)

$$K_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-][H^+]}{[H_2\text{CO}_3^*]}, \qquad K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][H^+]}{[\text{HCO}_3^-]}, \qquad K_w = [H^+][\text{OH}^-]$$

$$Alk = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [H^+]$$

$$c_T = [H_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

Ecuación 2.119 Fuentes y sumideros para el pH

Donde:

K1, K2 y K3: constantes de acidez.

Alk: alcalinidad.

H_2CO_3*: la suma de dióxido de carbono disuelto y ácido carbónico.

HCO_3^-: ion bicarbonato.

CO_3^{2-}: ion carbonato.

H^+: ion de hidronio.

OH^-: ion hidroxilo.

c_T: concentración total de carbono inorgánico.

- Alcalinidad

La ecuación indicada a continuación explica los cambios en la alcalinidad en el cuerpo de agua receptor debido a la fotosíntesis, respiración de las plantas, hidrólisis de nitrógeno y fósforo, nitrificación y desnitrificación. Ver la Ecuación 2.120. (Pelletier & Chapra, 2008)

$$S_{alk} = \left(-r_{alkaa}P_{ap} + r_{alkan}(1 - P_{ap})\right) \text{PhytoPhoto} + r_{alkaa}\text{PhytoResp} + r_{alkbn}\text{ONHydr} + r_{alkbp}\text{OPHydr} - \rightleftarrows r_{alkn}\text{NH4Nitr} + r_{alkden}\text{Denitr} + [r_{alkbn}(1 - P_{ap})\text{BotAlgUptakeN} - r_{alkbn}P_{ap}\text{BotAlgUptakeN} - r_{alkbp}\text{BotAlgUptakeP}]\frac{A_{st,i}}{V_i}$$

Ecuación 2.120 Fuentes y sumideros para la alcalinidad

Donde:

ralkaa: Fotosíntesis del fitoplancton (amoniaco como sustrato) y respiración.

ralkan: Fotosíntesis del fitoplancton (nitrato como sustrato)

ralkbn: Absorción de nitrógeno de las algas del fondo e hidrólisis del nitrógeno.

ralkbp: Absorción del fósforo de las algas del fondo e hidrólisis del fósforo.

ralkn: Nitrificación.

ralkden: Desnitrificación.

- Solidos suspendidos Totales

La concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) decae por el proceso de sedimentación, tal y como se indica en la Ecuación 2.121

$$Smi = -\frac{v_i}{H}m_i$$

Ecuación 2.121 Sumideros para los SST

Donde:

v_i= velocidad de sedimentación de los SST (m/d).

m_i: concentración de los SST.

F. Casos de estudio

La formulación de los casos de estudio para la modelación de calidad de aguas se realizó siguiendo los objetivos del estudio, en la Tabla 2.168 se describe cada uno:

Tabla 2.168 Casos de estudios modelados

Caso	Modelos	Descripción
Caso 1	Modelo 1	Representa el escenario de calibración, donde a partir de la primera campaña de monitoreo (Feb /2025) se simulan las condiciones medidas sin vertimiento, y se calibran los diferentes parámetros fisicoquímicos medidos de los cauces con sedimentadores y el río Nus.
Caso 2	Modelo 2	Con el modelo calibrado, se realiza un escenario de validación, donde se simula las condiciones de la segunda campaña de monitoreo (Mayo/2025) sin vertimiento para la época de lluvias.), con el que se verifica la calibración del modelo.
	Modelo 2.1	Escenario para el río Nus. Se realiza un escenario adicional de validación con las condiciones de la primera campaña de monitoreo en época seca del año 2022. (marzo)
	Modelo 2.2	Escenario para el río Nus. Se realiza un escenario adicional de validación con las condiciones de la primera campaña de monitoreo en época húmeda del año 2022. (mayo)
Caso 3	Modelo 3	Este caso está compuesto por los escenarios proyectados, donde se representas las condiciones de la época seca y húmeda del cuerpo de agua receptor con vertimiento, donde se simulan los caudales exigidos por los términos de referencia para proyectos de explotación Minera y se asume que la descarga por los sedimentadores, y del vertimiento domestico (caso del río Nus) cumplirá con las concentraciones o cargas establecidas por la Resolución 0631 de 2015, de acuerdo con lo regulado por la norma. Los sedimentadores el Banco, San Antonio y la Colorada utilizaran el cauce ocupado como canal de descarga hacia el río Nus donde descargaran sus aguas en condiciones que cumplan la 631 en cuanto a las condiciones de solidos suspendidos totales retenidos. En resumen, los casos modelados en el río Nus son: • Condición sin proyecto (línea base). • Carga máxima en el vertimiento tratado y caudal/nivel característico de condiciones mínimas sobre el cuerpo de agua receptor. • Carga promedio en el vertimiento tratado y caudal/nivel promedio sobre el cuerpo de agua receptor. • Carga máxima en el vertimiento tratado y caudal/nivel máximo ordinario sobre el cuerpo de agua receptor. En este escenario y para el caso de cuerpos lóticos, se debe considerar la resuspensión de sustancias (sedimentos, patógenos, tóxicos) provenientes del fondo del cauce. • Carga máxima en el vertimiento antes del tratamiento y caudal/nivel característico de condiciones mínimas sobre el cuerpo de agua receptor. Los sedimentadores solo se simularán para los primeros cuatro casos, y para el caso 4 se hará con el caudal medio de invierno, que es para el cual se solicita el permiso, cualquier caudal mayor, se considerara como una creciente (Caudal máximo). El último caso no se simula, porque el sedimentador se supuso que siempre trabaja a carga máxima.

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.8.4 Ocupaciones de cauce

Este capítulo presenta las variaciones de las condiciones de uso, aprovechamiento o afectación de los cauces, un recurso natural renovable por la Modificación de licencia del Proyecto Gramalote. Estos recursos serán aprovechados o afectados durante las diferentes etapas de este y se incluyen los que requieren o no permisos. Se presentan de forma clara los cambios de los permisos ya otorgados en la licencia del proyecto y se hace énfasis en las explicaciones de los cambios de cada ocupación.

Así mismo, se incorpora la información requerida en los Formularios Únicos Nacionales. Esta incluye el capítulo de demanda y se añaden los diseños de ingeniería que se requieren a nivel de factibilidad. Y los análisis de niveles y velocidades de flujo que permiten evidenciar cómo funciona el cauce antes y después de la ocupación de cauce.

Los caudales de diseño medios y máximos de las obras de drenaje (canales, tuberías y otros) fueron calculados utilizando las cuencas antrópicas presentadas en la GDB de insumos, los caudales máximos se calcularon con los métodos Racional para las cuencas menores 3 km^2 y los hidrogramas unitarios del Soil Conservation Service y William y Hann para las cuencas mayores, y las obras provisionales se diseñaron con los caudales medios como se explica en 2.3.3.5.5 Caracterización de Caudales.

Las obras de drenaje se diseñaron controlando las velocidades de flujo y niveles a la entrada de la obra y la salida utilizando las ecuaciones de flujo crítico y flujo normal. todo siguiendo los criterios de la Tabla 2.169.

Tabla 2.169 Crecientes de diseño (años) asociadas a los tipos de obras de drenaje propuestos

Obra	Tipo de vía o infraestructura				
	Vías internas			Vías públicas	
	Para construcción	Para operación	Mineras	Nacionales	Departamentales, Municipales o Veredales
	Período de retorno (años)				
Cunetas	2,33 (En tierra apisonada)	5 (Concreto)	5 (Concreto)	5 (Concreto)	5 (Concreto)
Rondas de coronación solo para taludes de más de 5 m de altura	10	10	10	10	10
Obra de cruce menores (badenes, tuberías y alcantarillas de cajón)	Tubería con capacidad del caudal medio del mes de invierno	25 años de periodo de retorno para flujo libre y chequeadas a presión para 100 años de periodo de retorno cumpliendo con normas de las corporaciones regionales y ANLA.			
Pontones	(Ver la nota 2)	100	100	100	100
Puentes	(Ver la nota 3)	100	100	100	100
Estructuras de caída	Según obra de cruce				
Drenaje subsuperficial	No se requiere	2	2	2	2
Sedimentadores	NA	NA	Caudal de operación el medio de invierno y paso de las crecientes. hasta de 500 años de periodo de retorno por el vertedero de excesos	NA	NA

Notas:

1. Todas las obras de drenaje serán calculadas utilizando las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) ya obtenidas para el proyecto en el capítulo de caracterización hidrológica.
2. Las tuberías tendrán un diámetro mínimo por mantenimiento de 900 mm (36 pulgadas). Y en los cauces que serán cruzados solo por vías provisionales se plantearán bádenes con o sin tubos de paso para el flujo medio, dependiendo de las alturas de flujo encontradas.
3. En las vías para construcción o industriales no se proyectarán puentes. En caso de requerirse, se plantearán bádenes con baterías de tubos.
4. En las vías para construcción se emplearán baterías de tubos o alcantarillas de cajón según las condiciones del sitio para facilitar la construcción de estas obras.

Fuente: Integral S. A., 2025

2.3.8.5 Aprovechamiento forestal

Para solicitar la demanda del recurso forestal, se tuvo en cuenta aquellas áreas intervenidas bajo las actividades de aprovechamiento, desmonte y limpieza de la vegetación, es decir, áreas requeridas para la construcción de las obras objeto de modificación de licencia

ambiental y obras nuevas, además de la actualización de los volúmenes de la demanda de las obras licenciadas.

Es importante destacar que, en este proceso se tuvo en cuenta los volúmenes y las áreas otorgadas en la licencia ambiental mediante la Resolución 1514 del 25 de noviembre del 2015, luego modificadas mediante la Resolución 0782 del 8 de mayo del 2019. Así mismo, se estimó la demanda de aprovechamiento adicional por las obras que comprenden la modificación en curso. De esta manera, el aprovechamiento forestal se lleva a cabo conforme a las necesidades de las obras de interés. Adicionalmente, se localizaron y georreferenciaron las áreas donde se realizará el aprovechamiento forestal, relacionando aquí la vereda, el corregimiento y el municipio. Se describieron las obras y actividades del proyecto, en especial aquellas que demandan el recurso forestal. Se relaciona la información detallada de los predios de las áreas objeto de aprovechamiento forestal: nombre y área.

Se consolidó la información cartográfica de los polígonos de áreas de aprovechamiento forestal e individuos a ser aprovechados. Los árboles se georreferenciaron sobre el tallo del árbol identificado para tala, de esta forma se determinó el número de árboles por cobertura vegetal; además, para determinar el área de aprovechamiento forestal se tuvo en cuenta la proyección de las copas de los árboles (caso particular de árboles aislados).

Adicionalmente, se revisaron los actos administrativos que establecen las especies con alguna categoría de amenaza a nivel nacional o regional, tales como el Acuerdo 404 del 29 de mayo de 2020 emitido por CORNARE y la Resolución 126 del 6 de febrero de 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Se formuló el Plan de aprovechamiento forestal, referido este al Programa de manejo de la vegetación, en él se incluyeron las medidas que definen la destinación y uso de la madera y los productos forestales provenientes del aprovechamiento; así como el Programa de seguimiento y monitoreo al Programa de manejo de la vegetación, en donde se incluyeron los indicadores de efectividad.

Finalmente, se presentó el Formato Único Nacional (FUN) relacionado con el aprovechamiento forestal, donde se relacionan, la información jurídica de la empresa, información de los predios y propietarios en el área objeto de aprovechamiento y los listados de individuos y las especies a aprovechar, sus volúmenes y localización. Para más información consúltese en ANEXOS_DEMANDA_FUN_APROVECHAMIENTO_FORESTAL.

A continuación, se detallan las fases para la obtención de la información necesaria para la caracterización y posterior aprovechamiento forestal del Proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote.

2.3.8.5.1 Fase de muestreo

Para la caracterización de la flora terrestre del área de influencia del proyecto mediante información primaria, se aplicaron diversas metodologías autorizadas en el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con fines de elaboración de estudios ambientales (RE-01318-2024 del 24 de abril de 2024), otorgado por CORNARE a la empresa INTEGRAL S.A. A continuación, se describen las metodologías empleadas en la fase de muestreo para cada grupo vegetal caracterizado.

A. Censo forestal

El censo forestal consistió en el registro y georreferenciación de todos los individuos arbóreos con DAP ≥ 10 cm (o CAP ≥ 31,4 cm) presentes en el área de intervención del proyecto, a los cuales se les estimó la altura total y comercial. Cada individuo fue marcado y codificado mediante un sistema alfanumérico único, registrando ramificaciones sin considerarlas como

individuos independientes. La información se consignó en formularios digitales mediante la aplicación Fulcrum. La identificación taxonómica se realizó principalmente en campo y en los casos de determinación dudosa, se efectuó la recolección, herborización y posterior identificación de muestras en el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA).

Para la estimación de los valores de volumen total y volumen comercial de los individuos objeto de aprovechamiento, se partió de la recolección de la información (CAP, altura total y comercial) en la totalidad de las coberturas antropizadas pertenecientes tanto al Orobioma Subandino Nechí San Lucas y el Helobioma Nechí San Lucas dentro del área del Proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote: pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, zonas de extracción minera, zonas industriales o comerciales, tierras desnudas y degradadas. También es necesario mencionar que debido a que la vegetación secundaria baja perteneciente al Helobioma Nechí San Lucas tiene un área reducida y con poca densidad arbórea con un DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor o igual a 10 cm, no se pudo establecer parcelas de caracterización que permitan calcular un error menor al 15% con una confianza del 95% por lo tanto, también se realizó censo forestal al 100% sobre esta cobertura.

B. Parcelas de caracterización

Además, se realizaron parcelas de caracterización para las coberturas naturales (bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria alta y vegetación secundaria baja), cumpliendo un error de muestreo calculado en relación con el volumen total por hectárea, garantizando no superar el 15% y un nivel de confianza del 95% (véase la Ecuación 2.81). En las parcelas se registraron los individuos fustales (DAP ≥ 10 cm), midiendo la circunferencia a la altura del pecho y estimando la altura total y comercial En cuanto al cálculo de los volúmenes se empleó la Ecuación 2.54 y para la biomasa la Ecuación 2.55.

C. Guaduales y bambusales

Para guaduales y bambusales se siguieron los lineamientos establecidos mediante la Resolución 1740 de 2016 del MADS con el fin de establecer la metodología según el área que ocupan para la caracterización y cuantificación del aprovechamiento forestal (parcelas de 100 m^2 o 10 m x 10 m para áreas mayores a 500m^2 y censo de los individuos para áreas menores a 500m^2). Asimismo, se tomaron como valores de referencia las equivalencias consignadas en el artículo 13 de dicho acto administrativo, siguiendo los lineamientos y equivalencias propuestas, donde cada guadua en pie (culmo) corresponde a un volumen de 0,1 m^3.

D. Especies de árboles y arbustos con restricción o veda a nivel nacional o regional

Se identificaron las especies amenazadas a ser intervenidas en las áreas de aprovechamiento forestal (Resolución 126 de 2024 del MADS, donde se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, que actualiza el comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y dicta otras disposiciones). Además, se revisa la Resolución No. 0801 del 24 de junio de 1977 por el INDERENA, la cual declara planta protegida una especie de flora silvestre y se establece una veda. Así mismo, se revisaron las especies contenidas en la Resolución No. 213 de 1977 (01 febrero) del INDERENA, "*Por la cual se establece veda para algunas especies y productos de la flora silvestre*", así como la Resolución No. 0316 del 7 de marzo de 1974 del INERENA, "*Por la cual se establecen vedas para algunas especies forestales maderables*". También se revisó la Resolución 0096 del 2006 del MAVDT. Por la cual se modifican las resoluciones 316 de

1974 y 1408 de 1975, proferidas por el INDERENA, en relación con la veda sobre la especie Roble (*Quercus humboldtii*).

La identificación de especies vedadas en el área de influencia del proyecto se realizó mediante búsquedas exhaustivas en los ecosistemas presentes en el área de intervención, con el fin de censar todos los individuos fustales con DAP ≥ 10 cm incluidos en los listados de veda nacional y/o regional. Adicionalmente, para el caso de los helechos arborescentes, se aplicaron los lineamientos de la Circular 8201 de 2019, registrando la totalidad de los individuos con altura igual o superior a 2 m.

E. Epífitas vasculares y no vasculares

Para el muestreo de especies de hábito epífito se tomó como unidad de muestreo el forófito, siguiendo los lineamientos del método REED-analysis para una evaluación rápida y representativa de epífitas vasculares y no vasculares. Con el fin de garantizar la intensidad de muestreo requerida en el contexto del proyecto, el número de forófitos caracterizados por cobertura se definió mediante el aplicativo de la ANLA para el cálculo de representatividad del muestreo de especies en veda nacional, considerando la naturaleza de las coberturas terrestres, el porcentaje de cobertura arbórea según Corine Land Cover adaptado para Colombia y el área de intervención de cada cobertura. Cada forófito fue georreferenciado mediante dispositivos GPS y se registraron sus principales variables dasométricas, incluyendo la circunferencia a la altura del pecho (CAP), la altura total, la altura fustal y la altura comercial.

En cada forófito seleccionado se cuantificaron los individuos de epífitas vasculares mediante observación directa, apoyada con binoculares y cámaras fotográficas con zoom, considerando tres estratos verticales con el fin de evaluar patrones de distribución y preferencias ambientales. La identificación taxonómica se realizó en campo hasta el nivel más específico posible y, cuando fue necesario, se recolectaron muestras representativas, las cuales fueron prensadas y preservadas en alcohol al 70 % para su posterior identificación en el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA). Para las epífitas no vasculares se evaluaron dos estratos con réplicas opuestas a 180°, muestreando áreas de 400 cm² mediante mallas de 20 × 20 cm; la determinación de morfoespecies y la cuantificación del área de ocupación se realizaron mediante observación directa y lupa (40X). Las muestras fueron colectadas, secadas y posteriormente identificadas por especialistas en el HUA.

F. Especies de otros hábitos de crecimiento

El muestreo de plantas vasculares en veda nacional de las familias Bromeliaceae y Orchidaceae de hábito terrestre y rupícola se realizó conforme a la Circular 8201 de 2019, mediante el establecimiento de al menos seis parcelas de 1 × 1 m por cada cobertura de la tierra. En cada parcela se registró la presencia, especie y número de individuos, las cuales fueron georreferenciadas y marcadas con códigos alfanuméricos. Adicionalmente, en estas mismas unidades se caracterizaron briófitos, líquenes y antocerotes, registrando la abundancia en cm² por tipo de sustrato y grupo taxonómico.

2.3.8.5.2 Fase de análisis

Finalizadas las actividades de campo, se procedió con el análisis de la información para la estimación del volumen de madera objeto de aprovechamiento forestal. A continuación, se presentan las metodologías empleadas para el cálculo de los diámetros, áreas basales y volúmenes requeridos en el aprovechamiento forestal.

A. Diámetros y áreas basales

En campo se tomaron los datos de la circunferencia a la altura del pecho (CAP), medida tomada con cinta métrica. A partir de esta, se calcula el diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante la Ecuación 2.52.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Ecuación 2.122 Estimación del DAP

Fuente: Yepes Quintero *et al.*, 2011

Donde:

DAP: diámetro la altura del pecho.

CAP: circunferencia a la altura del pecho.

Para el área basal se empleó la Ecuación 2.53.

$$AB = \frac{\pi}{4} \times DAP^2$$

Ecuación 2.123 Estimación del área basal

Fuente: BOLFOR *et al.*, 2000

Donde:

AB: área basal.

DAP: diámetro a la altura del pecho.

B. Estimación del volumen

Se calculó el volumen de madera de los árboles fustales registrados en las parcelas de muestreo y en el censo forestal, para ello se midieron en campo los parámetros de diámetro a la altura del pecho y se estimaron las altura total y comercial. Se empleó la ecuación convencional de volumen, ajustada con un coeficiente mórfico para especies tropicales de 0,7. Para el cálculo de esta variable dasométrica se utilizó la Ecuación 2.54.

$$V = AB\ x\ \ h\ x\ ff$$

Ecuación 2.124 Estimación de volumen

Fuente: BOLFOR *et al.*, 2000

Donde:

AB: área basal de cada individuo.

h: altura del individuo (m), total o comercial.

ff= factor mórfico (0,7).

C. Estimación de biomasa

Para el cálculo de la biomasa se emplearon ecuaciones alométricas estandarizadas para las zonas de vida del país, propuestas en el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, donde hay un buen ajuste del R^2 (≥90%) (Yepes Quintero, y otros, 2011)). El área objeto de aprovechamiento forestal del proyecto se encuentra ubicado en la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) y el carbono aéreo, será la mitad de la

biomasa calculada. En la Ecuación 2.125 se presenta el cálculo de estimación de la biomasa para el bh-T Ecuación 2.55.

$$BA = -1{,}544 + 2{,}37 \ln DAP$$

Ecuación 2.125 Estimación de biomasa para bh-T

Fuente: Yepes Quintero *et al.,* 2011

Donde:

BA: biomasa aérea.

DAP: diámetro a la altura del pecho.

Finalmente, el documento se consolidó con la actualización de las coberturas comprendidas entre los años 2019 y 2025. Posteriormente, se realizó la cuantificación del volumen de aprovechamiento para las áreas objeto de actualización, discriminado por cobertura, especie y obra. De igual forma, se efectuó la cuantificación del volumen correspondiente a las nuevas áreas a intervenir, bajo los mismos criterios. Además, se estimó la afectación sobre especies arbóreas, arbustivas, helechos arborescentes, epífitas y otros hábitos (vasculares y no vasculares) con restricción o veda a nivel nacional o regional, así como la intervención de los guaduales y bambusales identificados.

2.3.8.6 Emisiones atmosféricas (aire y ruido)

En cumplimiento de los requerimientos aplicables a fuentes fijas que requieren permiso de emisión (Decreto 1076 de 2015 y Resolución 619 de 1997), el desarrollo del capítulo se sustentó en la actualización de la línea base y en la evaluación mediante modelación, garantizando que el inventario de emisiones, el monitoreo de calidad del aire y la información para el modelo de dispersión se encontraran vigentes. La valoración se efectuó para tres escenarios: (i) condición actual sin proyecto, (ii) operación crítica con proyecto sin medidas de control y (iii) operación crítica con proyecto con medidas de control, integrando los componentes técnicos exigidos.

2.3.8.6.1 Modelo de calidad de aire

Existen un sinnúmero de modelos de dispersión disponibles en el mercado. Para un proyecto de este estilo, en el que se requieren múltiples receptores, topografía compleja y análisis de concentraciones en períodos anuales, es necesario correr un modelo de corto plazo. Por lo tanto, se ha decidido correr el modelo AERMOD, en su versión 23132, bajo el software AERMOD VIEW de la empresa Lakes Environmental, el cual está debidamente aprobado por la EPA.

Debe señalarse que el modelo AERMOD es el modelo regulatorio de dispersión de la EPA y, acorde con lo señalado en la legislación colombiana, el que debe usarse en ausencia de guías locales de modelación.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) exige el uso de AERMOD en diversas aplicaciones regulatorias, centrándose en la evaluación de la calidad del aire y el cumplimiento de las normas. Las regulaciones clave incluyen:

- Programas de Revisión de Nuevas Fuentes (NSR) y Prevención de Deterioro Significativo (PSD):
  - AERMOD se utiliza para obtener permisos que garanticen que las instalaciones propuestas no dañen la calidad del aire ni violen la NAAQS.
  - Cumplimiento de los límites de incremento para evitar el deterioro de la calidad del aire.
- Planes Estatales de Implementación (SIP):

    - AERMOD ayuda a los estados a desarrollar planes integrales para mantener y mejorar la calidad del aire.
    - Evaluar el impacto de las fuentes y diseñar estrategias de control de la contaminación.
- Título V Permisos de Operación: AERMOD empleó en el proceso de solicitud para demostrar el cumplimiento de las normas de emisiones.
- Cumplimiento de NAAQS: AERMOD evalúa las emisiones de las fuentes para verificar el cumplimiento de las normas NAAQS.
- Evaluaciones de contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP): AERMOD evalúa la dispersión y la concentración en los NESHAP para garantizar que no haya riesgos significativos para la salud o el medio ambiente.
- Estudios de Impacto Ambiental: AERMOD modela el impacto de la calidad del aire de las acciones propuestas en las Declaraciones de Impacto Ambiental.
- Planes de Gestión de Riesgos (PMR): AERMOD se puede utilizar para modelar los impactos potenciales de las liberaciones accidentales en los RMP.
- Monitoreo de zonas de lindero y estudios de exposición en la comunidad: AERMOD predice la dispersión y concentración de contaminantes para evaluar el impacto ambiental cercano.

En estos contextos, AERMOD garantiza una evaluación exhaustiva de los impactos de las emisiones en la calidad del aire, facilitando el cumplimiento de las normas medioambientales y apoyando el compromiso de la EPA de proteger la salud pública y el medio ambiente de los efectos adversos de la contaminación atmosférica.

A. Recolección primaria y secundaria para la corrida del modelo

Con base en la información suministrada por el cliente, se establecieron los datos que debían levantarse para la corrida del modelo, así:

- Características de la operación de las fuentes.
- Información de emisiones para los contaminantes de interés.
- Información de la operación necesaria para la corrida del modelo.
- Información secundaria disponible.
- Análisis y resultados de estudios anteriores.

B. Meteorología a emplear

Debido a la ausencia de una información meteorológica adecuada para la modelación de la operación del contrato de concesión minera, es decir, estaciones de información oficial cercanas a la ubicación de este, se opta por emplear datos meteorológicos de una serie WRF correspondiente al año 2024 con ubicación en el sector de Providencia. En el numeral 6 se presentan detalles de esta meteorología.

C. Emisiones

Para definir la concentración de las emisiones asociadas a las fuentes fugitivas del contrato de concesión minera se emplearon los factores de emisión AP-42 de la EPA.

D. Contaminantes a modelar

Como se indicó anteriormente, se modelará material particulado (PM10 y PM2,5) con y sin medidas de control, NO2 y SO2.

E. Identificación y establecimiento de receptores

Teniendo en cuenta la localización de las fuentes de emisión involucradas en las etapas constructiva y operativa, y los receptores de interés (población sensible), se definió una grilla de receptores para los cuales se evaluarían los efectos sobre la calidad de aire, dicha grilla respondió a una ventana de análisis de 14,5 km x 7,5 km espaciada cada 250 metros.

Además de la malla de receptores, se analizaron 67 receptores sensibles dentro del dominio de estudio. De estos, siete (7) corresponden a los sitios donde se realizaron las mediciones de calidad del aire, que sirvieron como referencia para comparar los resultados del modelo, y los 60 restantes (60) corresponden edificaciones más cercanas a la operación que permanecerán en la zona una vez se inicie el proyecto. Esta condición permite evaluar los aportes del modelo en cada uno de los puntos medidos y de esta forma valorar los impactos sobre la calidad del aire por la construcción y operación.

Tabla 2.170 Receptores incluiros en los modelos de dispersión

COD	Infraestructura	Este (m)	Norte (m)
P1	Palestina	4794236	2276788
P2_2014	Guacharacas	4789600	2278775
P3_2014	Trinidad	4784146	2279649
P5	Cristales	4789256	2274814
P2_2025	Guacharacas	4788944,83	2278324,7
P3_2025	Trinidad	4784124,2	2279646,1
P6	Punto cerca de la vereda El Diluvio	4791689,64	2275570,2
R01	Caseta Comunal - JAC	4791263,86	2277847,2
R02	Trapiche La María	4790981,1	2277916,78
R03	IER La María	4790924,53	2278107,83
R04	La María SAS	4790898	2277897
R05	Caseta Comunal - JAC	4785052,03	2280009,32
R06	IER La Trinidad	4784192,11	2279623,7
R07	Trapiche El Balsal	4788923,38	2277156,49
R08	Cancha de fútbol	4789268,12	2277330,16
R09	IER Peñas Azules	4787470,53	2275660,06
R10	Caseta Comunal - JAC	4787461,96	2275859,01
R11	Cancha de fútbol	4787441,96	2275846,13
R12	IER El Iris	4788145,66	2274891,89
R13	Caseta Comunal - JAC	4788127,66	2274888,93
R14	Templo pentecostal	4787874,89	2274954,44
R15	Trapiche El Iris	4790761,96	2276873,62
R16	IER Guacas Arriba	4783107,23	2276233,15
R17	Caseta Comunal - JAC	4783107,23	2276233,15
R18	IER Guacas Abajo	4785816,91	2275650,52
R19	Caseta Comunal - JAC	4786138,07	2276233,15
R20	Trapiche_Mario Bedoya	4785681,8	2275629,05
R21	Trapiche_Raúl Cadavid	4786447,79	2276100,1
R22	Iglesia Adventista séptimo día	4785429,46	2275554,03

COD	Infraestructura	Este (m)	Norte (m)
R26	Trapiche_Elkin Cifuentes	4786445,05	2276035,5
R28	Institución Educativa Rural El Barcino	4781956,95	2273565,48
R29	Caseta Comunal - JAC	4781908,23	2273378,5
R30	Trapiche_Miguel Molina	4782580,17	2274168,98
R31	Trapiche_Nancy Muñetón	4782181,19	2275198,27
R33	Trapiche_Fernando Builes	4783002,38	2274064,41
R37	IER El Diluvio	4791417,85	2275054,87
R38	Caseta Comunal - JAC	4791034,23	2274696,82
R39	Trapiche El Diluvio	4791488,2	2275700,49
R40	Trapiche_Alfonso Toro	4791240,96	2275114,92
R43	IER Manizales	4789586,27	2275887,47
R44	Caseta Comunal-JAC	4789045,99	2275662,7
R45	Trapiche_Juan Guillermo Sierra	4789760,54	2276511,88
R46	Caseta Comunal-JAC	4789299,11	2274820,46
R47	Colegio	4788145,66	2274891,89
R48	Escuela	4788145,66	2274891,89
R49	Alpujarrita - JAC	4788127,66	2274888,93
R50	Estación de Policía	4787874,89	2274954,44
R51	Sede Adulto Mayor	4787961,25	2274883,93
R52	Iglesia	4787987,69	2274881,23
R53	Centro de salud	4788342,6	2274895,47
R54	Coliseo Polideportivo	4788175,66	2274897,82
R55	Antigua Estación del Ferrocarril	4789910,91	2278514,8
R56	Cancha de fútbol	4789828,38	2278637,14
R57	Cementerio Jardines de Paz	4789588,7	2278476,07
R58	Centro de Desarrollo Infantil (CDI)	4789885,39	2278336,97
R59	Centro de Formación La Bateíta	4788832,67	2278295,23
R60	Coliseo	4789115,03	2278510,56
R61	Hogar del Buen Samaritano	4789935,07	2278554,71
R62	Iglesia Asambleas de Dios	4789650,68	2278466,82
R63	Iglesia Movimiento Misionero Mundial	4789852,76	2278479,02
R64	Iglesia Pentecostés unidos de Colombia	4789343,78	2278505,04
R65	Parroquia Divina Providencia	4789887,46	2278367,96
R66	Puesto de salud	4789897,53	2278402,92
R67	Punto de Atención	4789270,92	2278485,23
R68	Salón Parroquial	4789906,66	2278465,88
R69	Sede - JAC	4789906,66	2278465,88
R70	PCH	4788059,2	2277651,99
R74	Acueducto	4796164,9	2274010,17

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2026

F. Corrida del modelo

Con base en los datos disponibles, se realizó la corrida de un modelo base.

Todos los escenarios comprenden la definición de todos los parámetros de control del modelo, así como los parámetros de salida. Las isopletas se construyeron para la concentración media del periodo evaluado correspondiente al periodo de la meteorología 2024. Estos valores obtenidos se compararon contra los valores establecidos por la Resolución 2154 de 2017 que fija los estándares de calidad de aire en Colombia.

La totalidad de los modelos se corrieron bajo parámetros regulatorios de la EPA.

2.3.8.6.2 Modelo de ruido

Se describen a continuación los elementos descritos en el numeral 3 sobre metodología, se presenta el modelo de ruido y su configuración, así como los métodos de cálculo y estimación de emisiones de cada escenario evaluado.

A. Modelo empleado

Para este caso se emplea el software Cadna A, el cual utiliza el estándar ISO 9613-2 para fuentes industriales como modelo de propagación acústica. Con el fin de determinar las emisiones de ruido en las fuentes evaluadas, se emplea la norma NMPB-96 para la estimación de niveles de emisión de ruido en vías, para el caso de los frentes de obra en la fase construcción, áreas mineras y procesos de planta, se emplean niveles promedio según librerías de emisión para las actividades a desarrollar según maquinaria y equipos a emplear en el proceso.

En el estándar ISO 9613-2, el nivel de nivel ponderado (A) de presión sonora en un receptor específico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$LAT=Lw+ DI+ D\Omega-Adiv-Aatm-Agr-Amisc$$

Ecuación 2.126 Estándar ISO 9613-2, propagación acústica

Fuente: Data Kustik, 2016

Donde:

PWL: Nivel de potencia sonora en dB, relativo para el nivel de referencia de potencia sonora de 1 PW

DI: Índice de directividad: Desviación del nivel de sonido continuo para una fuente de radiación direccional en una dirección específica desde el nivel de una fuente puntual omnidireccional con el nivel de potencia acústica PWL

DΩ(K0): Corrección de ángulo sólido. Término que explica la propagación del sonido en ángulos de menos de 4π estereorradianes

Adiv: Atenuación derivada de divergencia calculada desde la distancia d entre la fuente y el receptor:

Aatm: Absorción atmosférica

Aatm=αL: coeficiente de atenuación atmosférica por km

D: Distancia fuente-receptor

Agr: Atenuación debido a efectos del terreno

Abar: Atenuación debido a efectos de apantallamiento (bermas, barreras, edificios, topografía etc)

Amisc: Atenuación debido a efectos diversos:

Follage: Afo

Zonas industriales: Asite

Alojamientos: A hous

En el caso de la emisión por tráfico rodado NMPB-96, se define la emisión de ruido E como un nivel sonoro equivalente, cuyo valor depende del tipo de tráfico, tipo de carretera, pendiente y velocidad del vehículo. Su cálculo se da mediante la siguiente ecuación:

$$E = E_0 + \alpha * \log(\frac{v}{v_0})$$

Ecuación 2.127 Cálculo del nivel sonoro equivalente NMPB-96

Donde:

V_0= Velocidad del vehículo

E_0 y α son valores tabulados según las condiciones de tráfico existentes.

La Figura 2.69 resume los valores de emisión resultantes de aplicar la Ecuación 2.127 para vehículos ligeros Elv y Pesados EHV en diferentes condiciones de tráfico.

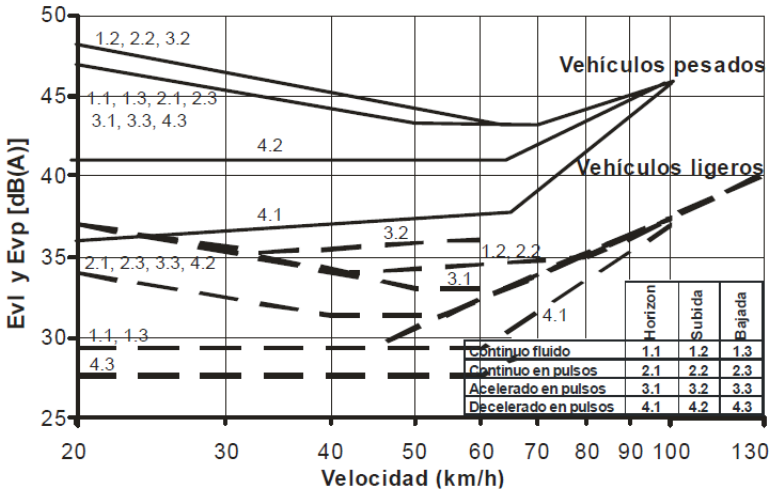


Figura 2.69 Valores de emisión de la Guide du Bruit 1980 para vehículos ligeros y pesados en función de diversas condiciones de tráfico

Fuente: Joaquín Fernández Francos, “Ruido en los medios de transporte”, Universidad de Extremadura, 2008[6]

Para esta norma, el nivel de potencia acústica por metro de vía en dB se calcula como:

[6] Citado por Gené;Ana y Valero;Xavier en “Comparación Entre El Método De Cálculo De Ruido De tráfico Rodado Nmpb’96 Y Su Posterior Actualizaciónnmpb’08 En Un Caso Práctico De Estudio (Gené, Valero, & Xavier)”

$$\frac{L_{Aw}}{m} = 10\log(10^{0,1(E_{LV}+10\log(Q_{LV}))} + 10^{0,1(E_{HV}+10\log(Q_{HV}))}) + 20$$

Ecuación 2.128 Nivel de potencia acústica por metro de vía

Donde:

QLV y Q Hv son el número de vehículos ligeros y pesados por hora

Para este tipo de fuentes, el nivel final de potencia sonora se calcula como una fuente compleja mediante el siguiente cálculo:

$$L_{Awi} = L_{Aw/m} + \log(l_i) + R + \Psi$$

Ecuación 2.129 Nivel de potencia sonora para una fuente compleja

Donde:

R=es la corrección por banda de octava, en función del espectro normalizado del ruido de tráfico.

li=es la longitud del tramo de vía caracterizado por la fuente puntual i

Ψ=es la corrección para el tipo de superficie

Una vez se define la emisión para la fuente, el modelo emplea la ecuación de propagación acústica definido por la norma ISO 9613-2 (Ecuación 2.126)

Dado que el método NMPB-96, solo admite dos categorías de vehículos (pesados y livianos), es preciso anotar que, para los escenarios proyectados de Construcción y Operación se evalúa el tráfico de vehículos pesados por las vías mineras del proyecto, por lo que esta condición del método sería solo un limitante en el caso de la condición actual en el que parte del tráfico observado está compuesto en parte por motocicletas. No obstante, es de resaltar que la mayoría de los modelos de tráfico están basados en los siguientes aspectos:

- Número de vehículos (TPD)
- % de vehículos por categoría (pesados, livianos)
- Velocidad de trafico
- Superficie de rodadura

Se considera, además, que, dado el comportamiento frecuencial del ruido por tipo de vehículo en función de la velocidad, es mayor el nivel de potencia sonora de los vehículos de pasajeros al de la motocicletas (+/- 1 dB) según el método avanzado de cálculo holandés, (Harmonoise, 2004) donde se establece el nivel de emisión según nivel de emisión en octava de banda por tipo de vehículos, categorizando vehículos de pasajeros, camiones y motocicletas (Figura 5 2), por lo que el cálculo mediante el NMPB-96 se considera apropiado para el objetivo de estimación de la emisión para el escenario de condición actual. Para dicho escenario, la categoría de motocicletas se contabiliza en la categoría de vehículos livianos.

f	passenger car	lorry		motorcycle
		mean	heavy	
[Hz]	25<v<170	34<v<120	23<v<120	40<v<195
	$A_+ + B \cdot \lg(v)$	$A_+ + B \cdot \lg(v)$	$A_+ + B \cdot \lg(v)$	$A_+ + B \cdot \lg(v)$
63	75,5 – 0,5·lg(v)	80,3 – 0,2·lg(v)	66,0 + 9,8·lg(v)	26,7 + 28,9·lg(v)
125	37,7 + 24,6·lg(v)	60,5 + 16,6·lg(v)	70,4 + 11,4·lg(v)	35,4 + 28,9·lg(v)
250	37,4 + 27,6·lg(v)	92,5 + 2,5·lg(v)	92,9 + 2,6·lg(v)	41,8 + 28,9·lg(v)
500	44,3 + 26,1·lg(v)	51,4 + 26,6·lg(v)	62,0 + 23,2·lg(v)	44,4 + 28,9·lg(v)
1000	50,1 + 26,8·lg(v)	62,2 + 22,3·lg(v)	68,1 + 20,8·lg(v)	40,9 + 28,9·lg(v)
2000	56,2 + 22,5·lg(v)	69,8 + 16,6·lg(v)	74,7 + 15,0·lg(v)	41,2 + 28,9·lg(v)
4000	48,7 + 22,2·lg(v)	64,0 + 16,2·lg(v)	72,7 + 12,4·lg(v)	37,8 + 28,9·lg(v)
8000	58,7 + 11,7·lg(v)	89,1 – 1,9·lg(v)	92,7 – 3,1·lg(v)	31,6 + 28,9·lg(v)
SRMI	16,9 + 27,6·lg(v)	38,1 + 19,0·lg(v)	43,0 + 17,9·lg(v)	14,8 + 28,9·lg(v)

Figura 2.70 Emisión en octava de banda para tráfico según el tipo de vehículo

Fuente: (Harmonoise, 2004)

Evaluación de los periodos diurno (Leq dia) y nocturno (Leq Noche), según se estipula en la resolución 627 de 2006, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental”. Estos periodos se definen en los siguientes horarios:

- Diurno: 7:01 horas hasta las 21:00 horas.
- Nocturno: 21:01 horas hasta las 7:00 horas.

En cada etapa evaluada, se contempla una operación durante las 24 horas del día.

Se contemplan los efectos del terreno como una superficie blanda con un coeficiente de absorción de 1, se considera la topografía, de las operaciones mineras y condiciones del proyecto según el escenario evaluado. No se consideran atenuación por efectos de la vegetación.

B. Dominio del modelo

Se contempla un dominio que abarca, el emplazamiento del proyecto y las fuentes de interés para cada etapa, así como los receptores de interés y sitios de monitoreo de ruido ambiental. El dominio seleccionado cubra un área de 14.5 Km x 7.5 Km.

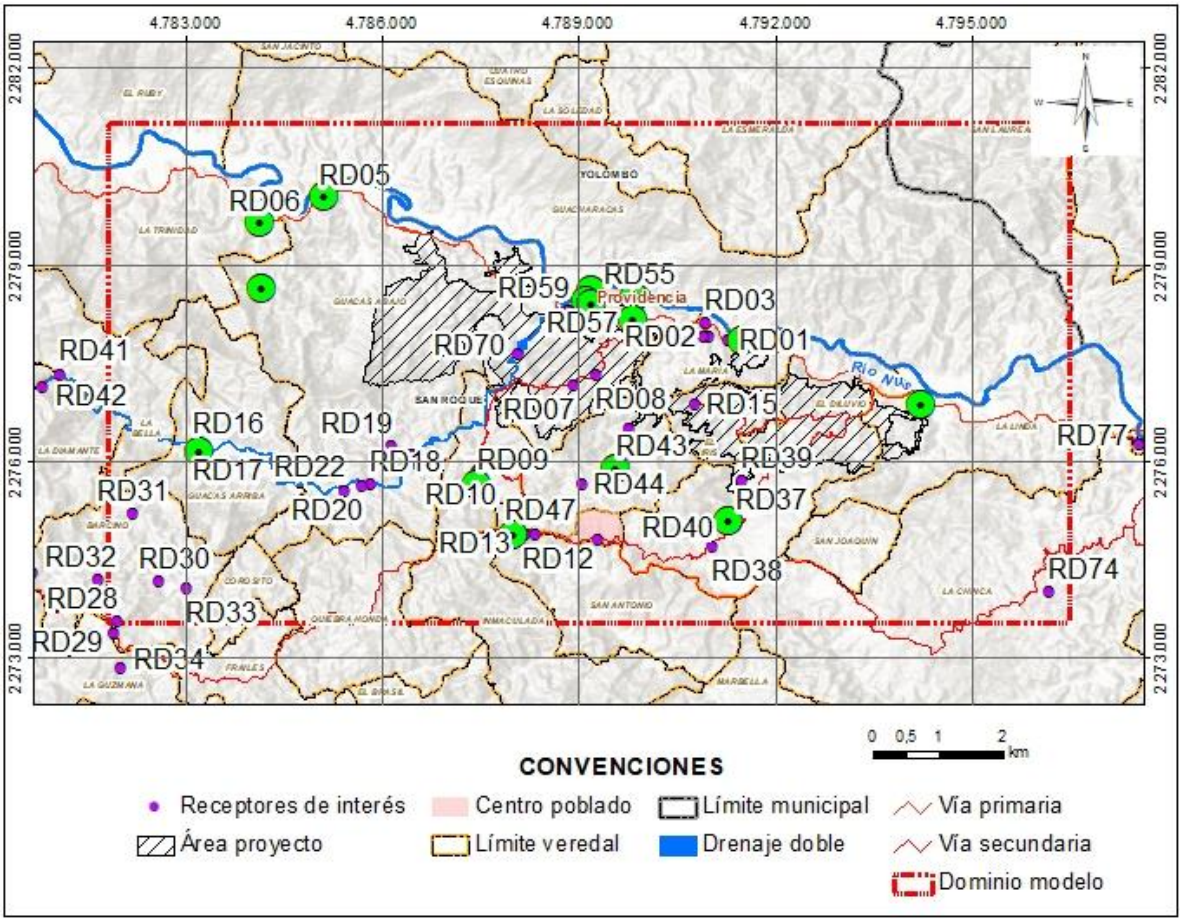


Figura 2.71 Dominio modelo de ruido

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

C. Modelo digital de terreno

Para simular los efectos del terreno en la propagación de ruido, se emplea un modelo digital de elevación por cada etapa evaluada. La metodología empleada para la generación de los Modelos digitales del terreno (MDT) se realizó a partir de datos topográficos de alto detalle (curvas de nivel) en las áreas del proyecto, así como información secundaria en la mayor resolución disponible para las zonas externas de manera que se completara el dominio seleccionado. Se crearon modelos digitales de terreno en formato ráster, mediante el uso de software de SIG. En cada archivo se revisó que no existieran irregularidades en los bordes de cada nube de puntos. En los escenarios proyectados, se tomaron en cuenta las variaciones topográficas inducidas por el proyecto. De los modelos digitales de terreno, se extraen curvas de nivel cada 3 metros, la cuales se simplifican y se cargan en software CADNAA, mediante el cual se generan las elevaciones a los elementos evaluados y establecen los obstáculos en la propagación de ruido. Los modelos de ruido por etapa se presentan a continuación.

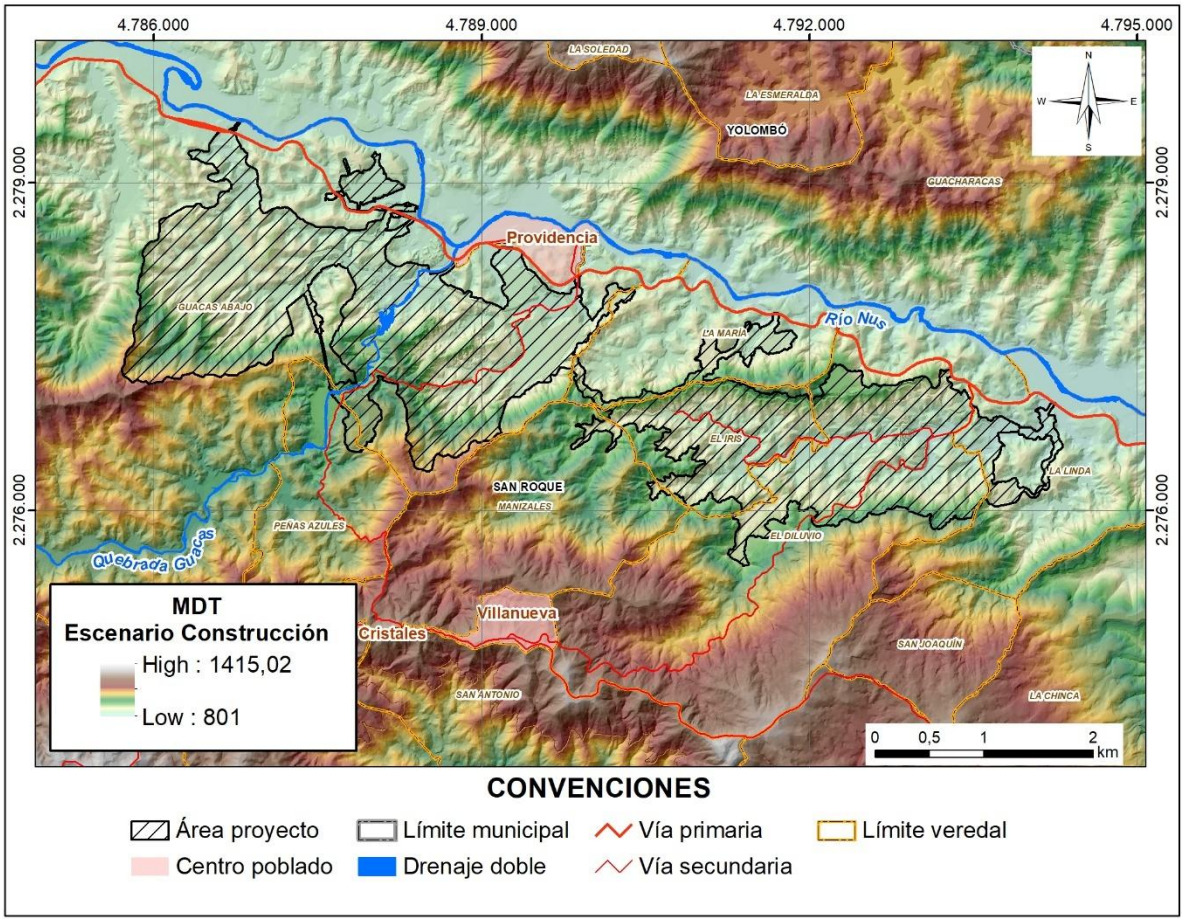


Figura 2.72 Modelo digital de terreno. Construcción

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

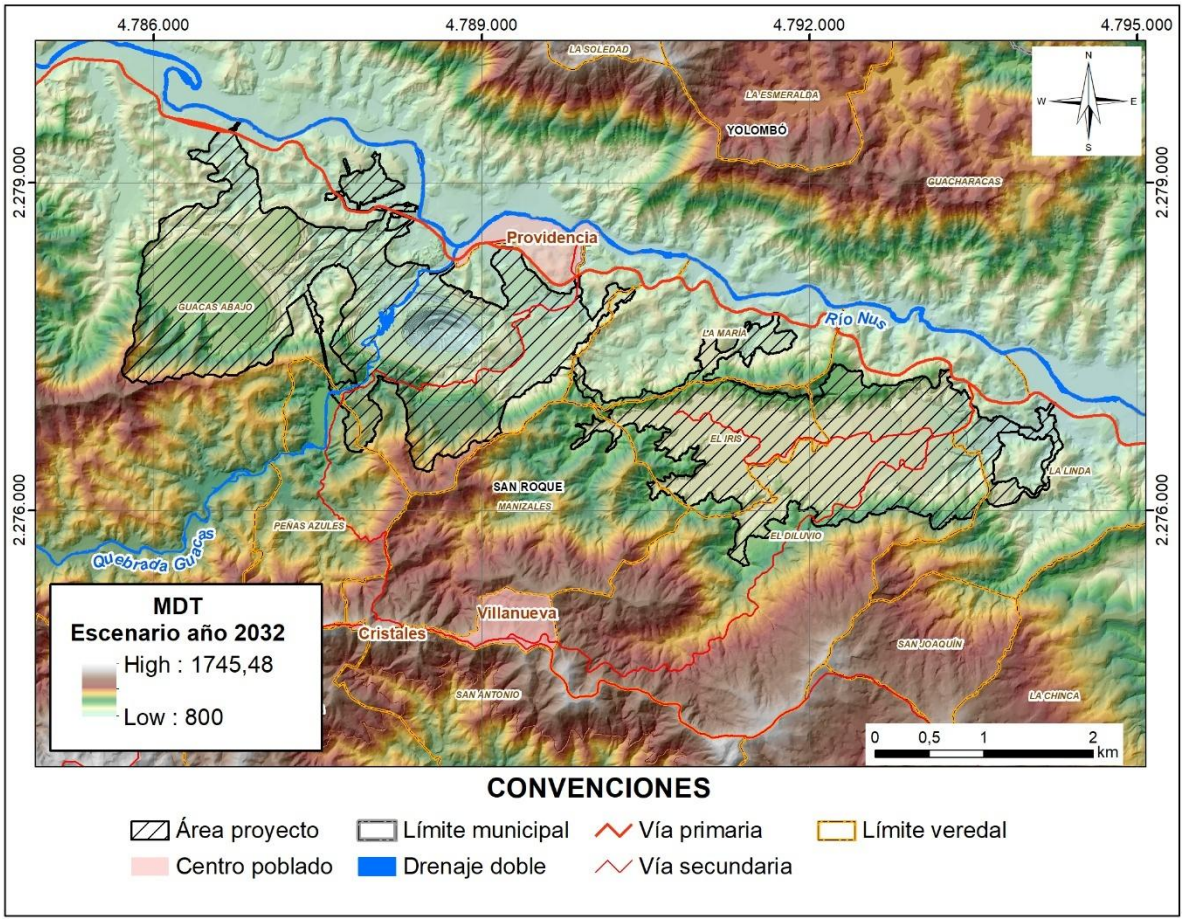


Figura 2.73 Modelo digital de terreno. Año 2032

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

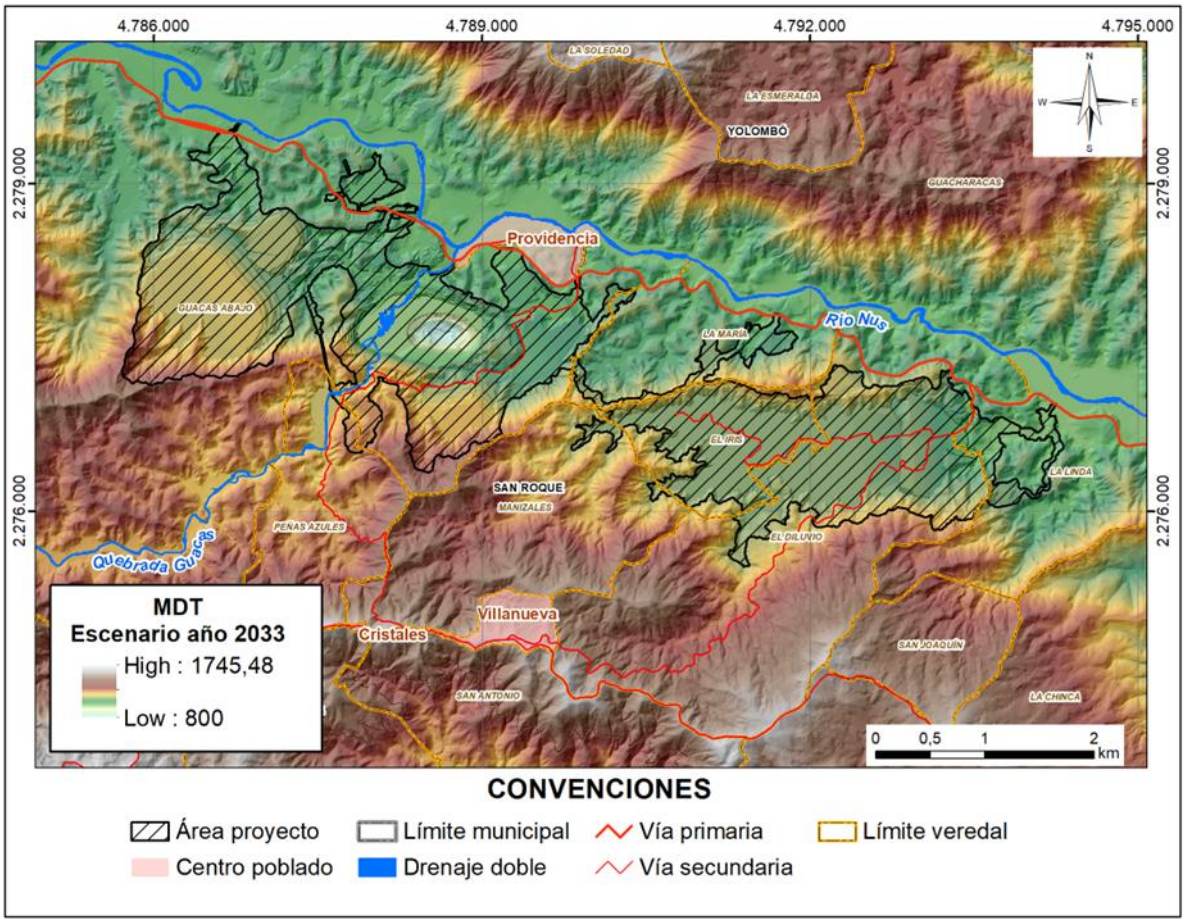


Figura 2.74 Modelo digital de terreno. Año 2033

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

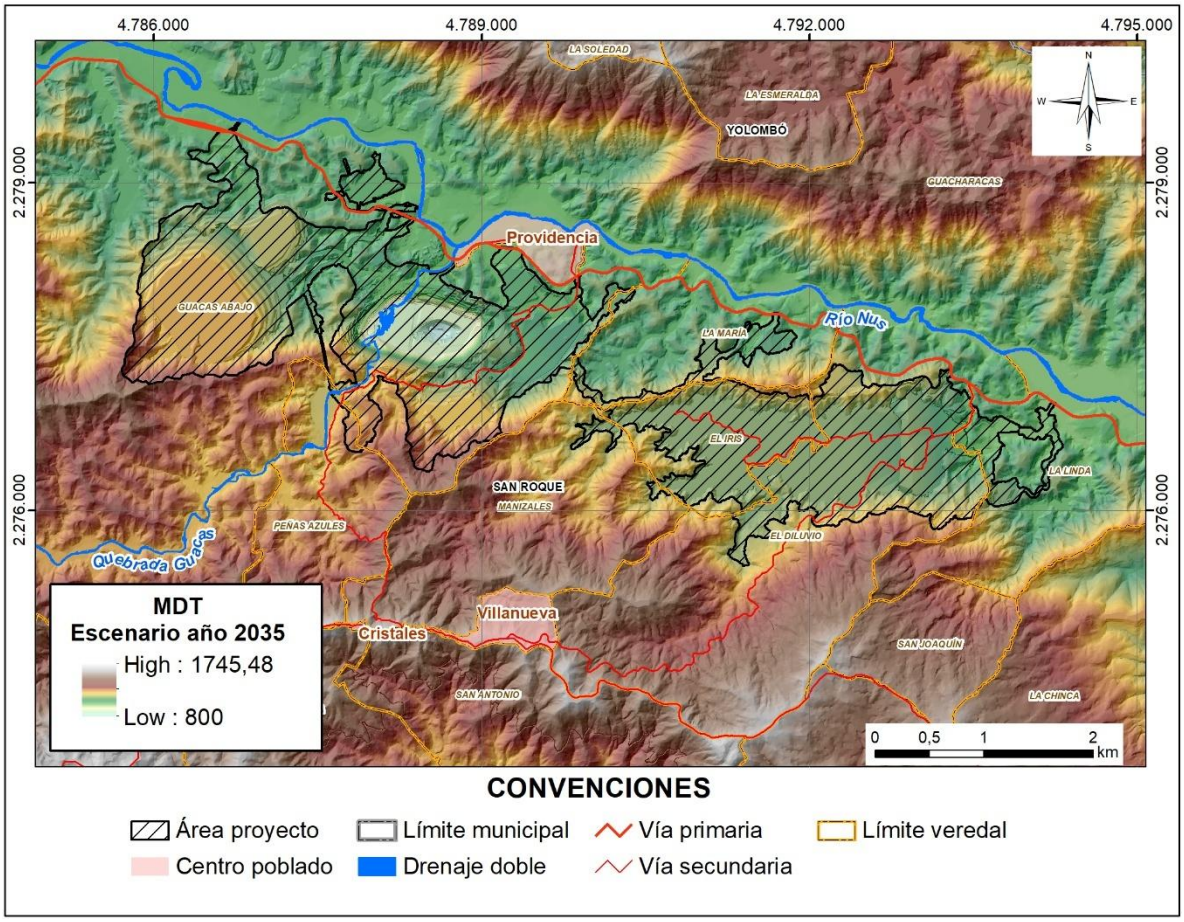


Figura 2.75 Modelo digital de terreno. Año 2035

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

Un elemento fundamental en la propagación de ruido, son las estructuras proyectadas de planta, las cuales se introducen como edificaciones en el modelo de ruido, de forma tal que evalúen elementos como la atenuación y/o refracción del ruido por los obstáculos introducidos por el proyecto. Un detalle 3D de las estructuras del modelo, construido desde el software Arc Scene y su representación en el CADNAA, se presenta a continuación.

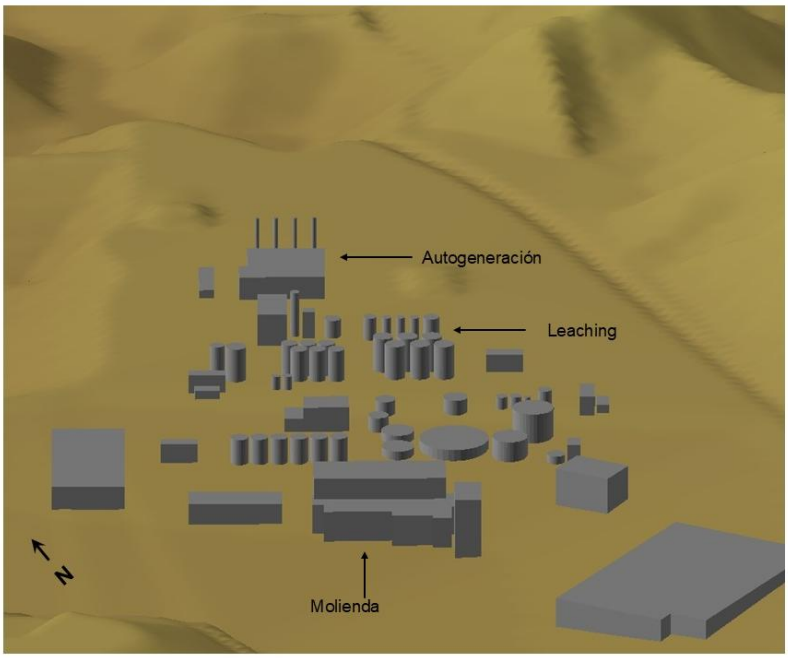


Figura 2.76 Vista 3D Estructuras de planta

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

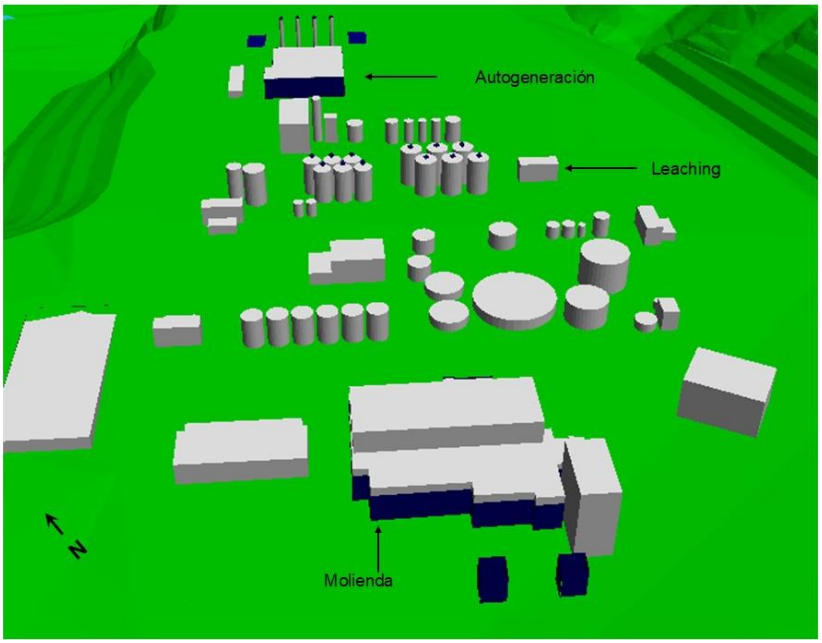


Figura 2.77 Vista 3D Estructuras de planta. Vista en modelo CADNAA

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

D. Meteorología

El modelo de ruido corrido tiene en cuenta las variables meteorológicas para el caso del coeficiente de atenuación atmosférica, tal y como lo establece la ISO 9613-2, el cual está definido de la siguiente manera:

$$A_{atm} = \alpha_L * d / 1000$$

Donde:

Aatm: Atenuación atmosférica.

αL: coeficiente de atenuación atmosférica por km.

d: distancia de la fuente al receptor.

Para efectos del modelo CADNA A, para una frecuencia por defecto de 500 Hz, el factor de atenuación por el coeficiente de absorción atmosférica es de 0.002 dB/km.

El coeficiente es el resultado de la interacción de las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa para las diferentes frecuencias evaluadas bajo una condición de presión atmosférica específica. Es por esto por lo que en el modelo se deben ingresar los datos de temperatura y humedad relativa y presión atmosférica.

Además de lo anterior existe en CADNA A, la posibilidad de ingresar la información de rosas de viento en caso de que se desee correr el modelo bajo dicha condición. En este caso, se emplea el factor Co que por defecto considera el modelo para la propagación de ruido.

La información meteorológica empleada en el modelo de ruido se toma a partir de una serie meteorológica global de Downscaling para el sitio del proyecto. Las variables ingresadas se presentan a continuación.

Temperatura °C:23

Humedad %: 72

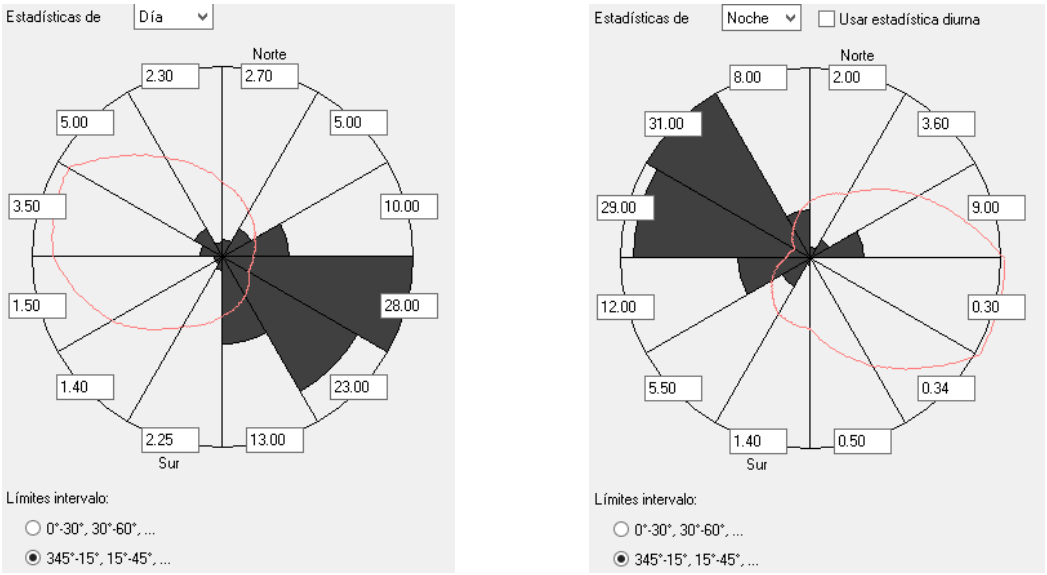


Figura 2.78 Estadísticas de viento. C0 en el modelo CADNAA

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2025

2.3.8.7 Permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la biodiversidad

De acuerdo con la Circular Externa No. 00001 del 18 de marzo de 2022 expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), donde se establecen los lineamientos y estandarizaciones de los criterios de aplicabilidad en cuanto a los instrumentos, normas y herramientas que hacen parte del proceso administrativo de licenciamiento ambiental, especialmente en lo relacionado con la aplicabilidad de las actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación

científica no comercial, se concluye que el permiso reglamentado tiene un propósito y alcances diferentes a los requeridos en el apartado de Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales del EIA; y por tanto, no es aplicable dentro de este ítem.

En este sentido, y conforme a los lineamientos de la Circular Externa anteriormente mencionada, se incluyen las medidas de manejo correspondientes para la prevención, mitigación, corrección y/o compensación a las que haya lugar, que se derivan de los procesos de captura, remoción o extracción temporal o definitiva del medio natural de especímenes de la diversidad biológica, durante la ejecución del proyecto, las cuales pueden ser consultadas en el Capítulo 10. Planes y Programas para el medio biótico.

2.3.8.8 Materiales de construcción

2.3.9 Metodología Evaluación ambiental

De acuerdo con el artículo 2.2.2.3.5.1. del Decreto 1076 de 2015, un estudio de impacto ambiental (EIA) es:

> *"el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental y se exigirá en todos los casos en que de acuerdo con la ley y el presente reglamento se requiera. Este estudio deberá ser elaborado de conformidad con la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales de que trata el artículo14 del presente decreto y los términos de referencia expedidos para el efecto, el cual deberá incluir como mínimo lo siguiente:*
>
> *1. Información del proyecto, relacionada con la localización, infraestructura, actividades del proyecto y demás información que se considere pertinente.*
>
> *2. Caracterización del área de influencia del proyecto, para los medios abiótico, biótico y socioeconómico.*
>
> *3. Demanda de recursos naturales por parte del proyecto; se presenta la información requerida para la solicitud de permisos relacionados con la captación de aguas superficiales, vertimientos, ocupación de cauces, aprovechamiento de materiales de construcción, aprovechamiento forestal, recolección de especímenes de la diversidad biológica con fines no comerciales, emisiones atmosféricas, gestión de residuos sólidos, exploración y explotación de aguas subterráneas*
>
> *4. Información relacionada con la evaluación de impactos ambientales y análisis de riesgos*
>
> *5. Zonificación de manejo ambiental, definida para el proyecto, obra o actividad para la cual se identifican las áreas de exclusión, las áreas de intervención con restricciones y las áreas de intervención.*
>
> *6. Evaluación económica de los impactos positivos y negativos del proyecto.*
>
> *7. Plan de manejo ambiental del proyecto, expresado en términos de programa de manejo, cada uno de ellos diferenciado en proyectos y sus costos de implementación.*
>
> *8. Programa de seguimiento y monitoreo, para cada uno de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.*
>
> *9. Plan de contingencias para la construcción y operación del proyecto; que incluya la actuación para derrames, incendios, fugas, emisiones y/o vertimientos por fuera de los límites permitidos.*
>
> *10. Plan de desmantelamiento y abandono, en el que se define el uso final del suelo, las principales medidas de manejo, restauración y reconformación morfológica.*

11. Plan de inversión del 1 %, en el cual se incluyen los elementos y costos considerados para estimar la inversión y la propuesta proyectos inversión, conformidad con lo dispuesto en la sección 1, capítulo 3, título 9, parte 2, libro 2 de este decreto o la norma lo modifique, sustituya o derogue. (Modificado por el Decreto 1956 de 2015, Art. 5)

12. Plan de compensación por pérdida de biodiversidad de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1517 del 31 de agosto de 2012 o la que modifique, sustituya o derogue."

Si bien el Estudio de Impacto Ambiental tiene esta estructura, son claramente identificables tres partes sobre el mismo: (1) información de entrada, que corresponde a la descripción del proyecto, la caracterización de un área de influencia y la demanda declarada de recursos naturales; (2) la evaluación ambiental, que es la integración de la información de entrada y la definición en términos cualitativos y cuantitativos de los impactos relevantes identificados; y finalmente, (3) las medidas de manejo tendientes a prevenir, corregir, mitigar o compensar los impactos identificados.

En este orden de ideas la evaluación ambiental es el vinculo que integra el proyecto que GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED está interesado en ejecutar y las medidas de manejo que, bajo acciones de prevención, mitigación, corrección y compensación atenderán los impactos asociados al proyecto. Esto respaldado por una valoración económica ambiental que determina la viabilidad ambiental del proyecto, entendiendo ambiental como aquello que considera al ser humano y su entorno. Por lo tanto, se hace necesario, para la elaboración de la evaluación ambiental, la selección de una metodología que permita predecir con el menor grado de incertidumbre posible la magnitud de los impactos identificados tanto cualitativa como cuantitativamente; no se puede perder de vista que para facilitar la toma de decisiones a la Autoridad Ambiental hay que suministrarle la información necesaria y suficiente.

Por lo tanto, revisadas las metodologías disponibles para el medio y dadas las condiciones para la elaboración de los estudios, se opta por la metodología conocida como Conesa, dado que la misma ofrece la posibilidad de calificar cada impacto por su magnitud e importancia. V. Conesa Fdez- Vítora presentó en 2010 la Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental; que pretende "basado en el método de matrices causa-efecto, derivadas de la matriz de Leopold con resultados cualitativos, y el método del Instituto Batelle-Columbus, con resultados cuantitativos, que consiste en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes y en filas, los factores ambientales susceptibles de recibir impactos" (2010, p. 206), caracterizar los impactos significativos.

Para la evaluación ambiental, y tal como lo establecen la Metodología General para la Elaboración de Estudios Ambientales MGEPEA 2018 y los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera 2016, deben considerarse dos escenarios: sin y con proyecto.

Dado que el proyecto GRAMALOTE tiene vigente una licencia ambiental desde el año 2015 y que se vienen ejecutando actividades previas y especialmente actividades de reasentamiento minero, se establece como **escenario sin proyecto** el estado actual del territorio que determina las actividades propias del entorno y las actividad que a la fecha ha adelantado GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED asociadas al programa de reasentamiento minero; y como **escenario con proyecto** las actividades propias del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, dejando claro que si bien se modifican los diseños, las actividades son equivalentes a las declaradas en el proceso de licenciamiento que tuvo como resultado la obtención de la licencia ambiental bajo Resolución 1514/2015 y ajustada mediante recurso de reposición atendido mediante Resolución 0309/2016.

Para la evaluación ambiental se cumplieron los siguientes pasos:

2.3.9.1 Construcción de la matriz de doble entrada

Si bien la Metodología de Conesa establece que en las columnas figuran las acciones impactantes (actividades sin y con proyecto) y en filas, los factores ambientales susceptibles de recibir impactos (desagregación de los elementos del ambiente por componentes); este proyecto presenta la matriz transpuesta, tal como se presentó en el estudio de impacto ambiental para el proceso de licenciamiento en 2015. En las Tabla 2.171 y en la Tabla 2.172, se presentan las actividades identificadas como propias del territorio (Actividades sin proyecto) y las actividades propias del proyecto (Actividades con proyecto); aclarando nuevamente que ellas son equivalentes a las presentadas en el proceso de licenciamiento ambiental que se adelantó en 2015 y que los ajustes en el diseño del Plan de Trabajo y Obra lo que obliga en términos ambientales es a un ajuste en orden a la importancia (grado de manifestación cualitativa) y magnitud (grado de manifestación cuantitativa) de los impactos ya declarados.

Tabla 2.171 Actividades propias del territorio (Actividades sin proyecto)

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
MINERÍA DE ORO (ALUVIÓN)	La minería de oro de aluvión corresponde a la extracción de oro presente en los sedimentos transportados y depositados por el agua a lo largo del tiempo. Esta actividad se lleva a cabo mediante técnicas artesanales y tradicionales, empleadas en ríos y quebradas de forma manual, con el objetivo de garantizar la subsistencia de los mineros artesanales. Por esta razón, se reconoce como minería de subsistencia. El proceso inicia con la remoción del material aluvial del borde o del fondo del río o quebrada, utilizando herramientas manuales como picas y palas. Posteriormente, el sedimento aurífero se lava manualmente en el mismo sitio con el apoyo de herramientas sencillas, como bateas de madera o metal, canaletas y/o zarandas. Si bien no se evidencia de manera directa el uso de mercurio, se tiene conocimiento de su aplicación en el proceso de amalgamación, utilizado para la separación y recuperación del oro. Esta etapa también puede realizarse en el lugar de extracción. En términos de productividad, un minero artesanal que trabaja manualmente puede extraer entre 0,1 y 5 gramos de oro al día. En cuanto a las condiciones laborales, quienes desarrollan esta actividad lo hacen de manera individual o en grupos de hasta dos personas, con el propósito de generar ingresos para su subsistencia. Debido a la ausencia de contratos laborales formales, estos trabajadores son considerados independientes. Una vez obtenido el oro, los mineros artesanales recurren a comerciantes locales o plantas de beneficio para su venta.
MINERÍA DE ORO FORMALIZADA (VETA)	Esta actividad se realiza para la extracción de oro desde depósitos minerales ubicados en el subsuelo, bajo un marco legal que cumple con regulaciones ambientales, sociales y laborales. En este sentido la minería formalizada opera bajo licencias y permisos otorgados por las autoridades correspondiente como es el caso de Cornare (en la zona de San Roque) y/o Corantioquia (en la zona de Yolombó).

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
	El proceso inicia con el desmonte y descapote, relacionado con el retiro del material vegetal y suelo en áreas específicas para la apertura de bocaminas y apertura de espacio para la infraestructura, el material vegetal se retira por medio de motosierra o hachas; el producto es picado y almacenado en pilas para su posterior uso como cobertura en la recuperación del área intervenida. Posteriormente se realiza la apertura de accesos por medio de la excavación de túneles, galerías y chimeneas para alcanzar la veta; se procede con el sostenimiento mediante la instalación de maderas, pernos de anclaje o mallas metálicas para evitar derrumbes, así mismo se adecuan los túneles con ventilación y drenaje, en el primer caso se incorpora un sistemas para garantizar oxígeno y evitar acumulación de gases tóxicos, así mismo, se incorpora un sistema para la evacuación de aguas subterráneas de ser requerido. La explotación se realiza con métodos tradicionales como corte y relleno, cámaras y pilares, o subniveles dependiendo de la geología del yacimiento, empleando herramientas como: martillos neumáticos, explosivos y herramientas manuales. El material extraído es transportado con carretillas, vagonetas o pequeños sistemas de tracción mecánica, en cuanto al material útil se transporta en mula o moto a una planta de beneficio con licencia ambiental ubicada por fuera del área del proyecto y el estéril se deja dentro de las minas sirviendo como sostenimiento de las labores antiguas; en algunos casos, los bultos de material estéril son vaciados en botaderos (acopio en superficie de forma antitécnica, aledaños a cuerpos de agua), para que algunos pobladores del área (chatarreros) seleccionen los materiales que les puedan servir para ser aprovechados. La venta del oro extraído en este tipo de minería a través de procesamiento en planta de beneficio con licencia ambiental por fuera del área del proyecto, donde posteriormente realiza la venta a comerciantes legalmente constituidos, permitiendo el pago de regalías y otros impuestos. La minería de oro formalizada presente en el territorio no solo reduce los impactos ambientales y mejora las condiciones laborales, sino que también contribuye al desarrollo económico de la región, generando empleo y promoviendo prácticas sostenibles en la industria minera.
EXTRACCIÓN ILICITA O INFORMAL DE MINERALES	Esta actividad se desarrolló para la extracción de oro desde depósitos minerales ubicados en el subsuelo, bajo un marco informal dado que no cumple con regulaciones, ambientales y laborales. En este sentido la minería informal opera bajo la inexistencia de licencias ambientales y permisos otorgados por las autoridades correspondientes. El proceso inicia con el desmonte y descapote, relacionado con el retiro del material vegetal y suelo en áreas específicas para la apertura de bocaminas e infraestructura, posteriormente se realiza la apertura

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
	de accesos por medio de la excavación de túneles, galerías y chimeneas para alcanzar la veta; se procede con el sostenimiento mediante la instalación de maderas, pernos de anclaje o mallas metálicas para evitar derrumbes, así mismo se adecuan los túneles con ventilación y drenaje, todas estas actividades se realizan de manera incipientes y/o inadecuadas. El mecanismo para la extracción e inadecuada disposición de material estéril se realiza por medio de herramientas manuales y/o mecanizadas y explosivos no autorizados por la autoridad competente. El cargue de material mineralizado para traslado a entables de beneficio informales dentro o cerca al área del proyecto se realiza por medio de motos, lo que genera un empleo informal, ya que en la zona de interés existes personas que se dedican solo al transporte de dicho material; el proceso de beneficio emplea mercurio el cual se encuentra prohibido su uso en Colombia. La venta del oro extraído en este tipo de minería se realiza a través de entables de beneficio informales o comercio informal en compraventas; lo que excluye el pago de regalías y otros impuestos.
BENEFICIO DEL ORO EN PLANTAS DE BENEFICIO NO LICENCIADAS	Esta actividad se lleva a cabo mediante procesos físicos y químicos utilizados para extraer, separar y purificar el oro contenido en el mineral. Este proceso es fundamental en la minería, ya que permite obtener oro en una forma comercializable con la menor cantidad de impurezas posible. El proceso comienza con la trituración y molienda, donde se reduce el tamaño del mineral. Para ello, se emplean chancadoras (quebradoras) en la trituración primaria y molinos de bolas o de barras en la molienda, hasta obtener un material en polvo fino. Posteriormente, se lleva a cabo la separación gravimétrica, basada en la diferencia de densidad entre el oro y otros minerales, utilizando equipos como mesas vibratorias o canalones (canelones) que funcionan empleando generadores de energía a partir de gasolina (Diesel). A continuación, se realiza la amalgamación con mercurio, un proceso en el que el oro se combina con mercurio para formar una amalgama. Cabe destacar que el uso de mercurio está prohibido en Colombia, de acuerdo con la normativa vigente. Luego, el mineral residual se somete a cianuración para recuperar el oro no amalgamado, mediante el uso de tinas de cianuración. Finalmente, el oro recuperado pasa por un proceso de quema y fundición, donde se calienta la amalgama para separar el mercurio y obtener el oro metálico. Este proceso genera emisiones de gases de mercurio, lo que representa un alto riesgo ambiental y de salud pública. La comercialización del oro extraído en este tipo de minería se realiza a través del comercio informal, lo que excluye el pago de regalías y otros impuestos, afectando la tributación y control del sector minero en el país.
EXTRACCIÓN DEL MATERIAL DE ARRASTRE DE LAS PLAYAS	Comprende la extracción de material de arrastre de las playas aluviales (arena y/o grava) por medio de herramientas manuales (pica, pala y carretilla). El cual se desarrolla por la persona que requiere

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
ALUVIALES (RIO NUS Y QUEBRADA PALESTINA)	dicho material para realizar mejoras en la vivienda o predio, no se realiza la contratación de mano de obra, y el transporte del material se realiza en sacos de arena. Esta actividad se realiza de manera individual de acuerdo a las necesidades de cada persona de la comunidad.
GANADERÍA	Es una de las actividades se desarrolla por la comunidad para la explotación bovina y producción de leche o doble propósito; esta actividad requiere inicialmente del desmonte la cual comprende el retiro de la cobertura vegetal boscosa o arbustiva para establecer posteriormente pastos manejados y dar paso a la actividad ganadera. Es de señalar que la Ganadería involucra una serie de actividades para el manejo, reproducción y aprovechamiento del ganado. Estas actividades pueden variar según el tipo de ganadería (de leche, de carne o doble propósito), pero en general incluyen: Le manejo y cuidado del Ganado, la cual comprende la alimentación, la salud del animal y la identificación de este; en la provisión de alimentación se contempla la disponibilidad de pastos, forrajes y suplementos nutricionales según las necesidades del ganado, lo que involucra entonces un adecuado manejo de los pastos con fertilizantes para promover el crecimiento de estos, así mismo, se debe asegurar fuentes de agua limpia y suficiente para el consumo del ganado; por otra parte, la sanidad del animal se preserva con las vacunaciones, control de parásitos y prevención de enfermedades para garantizar la salud del hato y por último, la identificación del animal con uso de aretes, marcas o chips para el registro y control individual de los animales. En cuanto al proceso de producción y comercialización en la ganadería lechera, el ordeño puede ser manual o mecánico. Su transporte se realiza por medio de canteros de aluminio, el cual puede ser transportado en moto o en caballo hasta para la venta local. Por su parte el engorde asociado a la ganadería de carne se trabaja en la alimentación y crecimiento de los animales hasta su peso óptimo para la venta. El cual se lleva hasta los mataderos a pie o por medio de camión para la obtención del producto y comercialización local. Es de señalar que la actividad ganadera requiere de un cambio periódico de los animales entre pastizales para evitar el sobrepastoreo y mejorar la regeneración del pasto, en el territorio predomina en ese sentido la ganadería extensiva.
AGRICULTURA	Actividad que se desarrolla por la comunidad para la producción de café, plátano, maíz y frutales; para el desarrollo de esta se requiere de la preparación del terreno, en donde se realiza la eliminación de maleza, piedra y rastros de cultivos anteriores, se procede con la remoción y aireación del suelo para facilitar el desarrollo de raíces. Posteriormente, se realiza la siembra de manera manual con la apertura de hoyos para la siembra de las plántulas y/o semillas.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
	Como medidas de manejo del cultivo, involucra el riego, aplicación de fertilizantes para mejorar el crecimiento de las plantas, así mismo, involucra el control de plagas, enfermedades y maleza; que requiere la incorporación de pesticidas. La colecta de la cosecha se realiza de manera manual, implica contratación de personal por días para la colecta y se realiza de manera manual; posteriormente se realiza el procesamiento en el caso del café (secado, obtención semilla), clasificación y almacenamiento para realizar la distribución en el mercado local o regional; por medio de semovientes, motos y/o vehículos.
PESCA	Captura y extracción organismos acuáticos como peces (mojarra, sabaleta) para autoconsumo o por deporte. Se realiza a pie, con mallas de pesca (atarraya) o palo de pesca
PISCICULTURA	Actividad que se desarrolla por la comunidad para la cría y producción controlada de peces en ambientes acuáticos, como estanques o sistemas cerrados, con el objetivo de obtener alimento para consumo o venta local o veredal. Para el desarrollo de la actividad se requiere de la adecuación de la infraestructura que implica la remoción de suelo para la construcción del canal de entrada de agua, pendiente, dique, estanque y desagüe. Posteriormente, se incorporan los peces a cultivar (cachama y Tilapia) mediante técnicas controladas por el hombre para la cría y engorde de peces. Finalmente se realiza la captura de peces en el tamaño adecuado para la venta o consumo, se realiza el procesamiento, clasificación y empaque del producto, para su distribución y comercialización en el mercado local.
GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA (PCH)	La generación de energía por medio de hidroeléctricas en el área de influencia socioeconómica del proyecto objeto de modificación, se identificaron dos Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) ubicadas sobre la quebrada Guacas. Estas PCH, La Cascada en la vereda Guacas Abajo y La Rebusca en la vereda La Bella, aprovechan el recurso hídrico de la quebrada para producir energía eléctrica mediante sistemas de pasada. La Generación de energía, en la central hidroeléctrica La Cascada (operada por HMV Ingenieros), opera a filo de agua, con una capacidad instalada de 2,3 MW, caudal de 3 m3/s y salto neto de aproximadamente 100 m. La subestación asociada permite conectar la PCH al Sistema Interconectado Nacional (SIN); en la actualidad, esta micro central requiere de actividades de mantenimiento

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
	preventivo y correctivo de los equipos e instalaciones de misma. En cuanto a la central hidroeléctrica La Rebusca (Operada por HZ ENERGY S.A.S. E.S.P) Esta empresa es responsable de la administración, operación y mantenimiento de la planta, garantizando la generación continua de energía a partir del recurso hídrico de la quebrada, tiene una capacidad instalada aproximada de 0,7 MW (700 kW), con un caudal de 1.8 m3/s. Esta planta está compuesta por una unidad de generación hidráulica tipo filo de agua, construida en los años 40 para atender la demanda energética local. La subestación asociada permite conectar la PCH al Sistema Interconectado Nacional (SIN); en la actualidad, esta micro central requiere de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e instalaciones de misma. Para la presente modificación se identifica la superposición de la PCH La Cascada la cual es propiedad de Gramalote Colombia Limited, y no se presenta superposición con la PCH La Rebusca la cual es propiedad de Empresas Públicas de Medellín - EPM.
PRODUCCIÓN DE PANELA	La actividad panelera es el conjunto de procesos productivos relacionados con la elaboración de panela, un producto sólido y no refinado obtenido a partir del jugo de la caña. Esta actividad es de gran importancia económica y social, donde la panela es un alimento básico y fuente de ingresos para muchas comunidades rurales. Se inicia con la actividad de siembra y mantenimiento del cultivo (riego, fertilización, control de plagas y enfermedades); una vez la cosecha de la caña se encuentra en su punto óptimo de maduración, se procede a la colecta, la cual requiere de contratación de personal dependiendo del tamaño del cultivo; esta se carga en semovientes y se lleva a los trapiches, donde realizan la molienda (proceso por el cual se pasan todas las cañas previamente cortadas por el molino del trapiche, se extrae el zumo (o guarapo), y se prepara la panela.); Cocción, evaporación, batido y moldeado; para posteriormente vender el producto en el mercado local y regional. Para la molienda se contrata personal que ayude en el procesos de la cocción y mantenimiento del trapiche. Se realiza la captación de agua para el riego de cultivos, y para la limpieza del trapiche.
OFERTA DE BIENES Y SERVICIOS	Comprende los bienes y servicios ofrecidos en el sector comercial (Restaurantes, tiendas, droguerías, talleres, estaciones de servicio, entre otras).
ACTIVIDADES DOMÉSTICAS EN NÚCLEOS URBANOS Y VIVIENDA DISPERSAS	Actividades donde se realiza el uso de las fuentes hídricas del territorio como nacimientos o quebradas para el abastecimiento de agua para uso doméstico (baños, cocina, limpieza, etc.), contempla así mismo insumos para la cocción de alimentos por medio de combustibles como madera y/o gas. También hace referencia a la generación de residuos sólidos y vertimientos producto de las actividades propias de la población.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
FUNCIONAMIENTO DE ORGANIZACIONES COMUNITARIAS Y PRODUCTIVAS	Comprende la presencia y funcionamiento de Organizaciones comunitarias públicas y privadas que funcionan actualmente en el territorio y que contribuyen al fortalecimiento de la organización social.
MINERÍA DE ORO (CIELO ABIERTO-PROYECTO GRAMALOTE)	Hace referencia a la ejecución de actividades autorizadas de acuerdo a la licencia ambiental y sus modificaciones; Reasentamiento: Contratación de mano de obra, bienes y servicios, Adquisición de predios y servidumbre, Operación de oficinas Provisionales. Adicionalmente, se adelanta la actividad de exploración adicional, la cual, comprende la operación de plataforma de perforación (incluye presencia de operarios, operación de maquinaria e instalaciones provisionales y producción de residuos y vertimientos). Finalmente se desarrollan actividades con la gestión social, la cual, corresponde al diseño e implementación de estrategias para integrar a las comunidades locales, autoridades y grupos de interés en el proceso de minería; con la finalidad de identificar, gestionar y mitigar los posibles impactos sociales derivados de las actividades mineras, promoviendo el desarrollo social y económico, el respeto a los derechos humanos y la participación activa de la población
PORCICULTURA	Actividad que se desarrolla por la comunidad a pequeña escala, principalmente para el autoconsumo familiar y con baja orientación comercial. Los animales son criados en corrales artesanales construidos en madera, guadua o materiales reusados en algunos casos con material de concreto y varilla, predominando el uso artesanal con material reusado, y se ubican generalmente cerca de las viviendas rurales. Las personas que realizan este tipo de actividad alimentan a los cerdos en su mayoría de subproductos agrícolas, residuos de cocina y ocasionalmente concentrados comerciales, lo que permite un sistema de bajo costo y autosuficiencia alimentaria. La producción excedentaria se comercializa de manera limitada en mercados locales o veredales. Esta actividad genera una acumulación de excretas y lavado de corrales puede generar procesos de contaminación puntual y alteraciones fisicoquímicas en el suelo cercano, así como al recurso hídrico al no contar con un tratamiento de aguas para esta actividad, lo que genera un riesgo de afectación de quebradas y nacimientos locales por vertimientos directos de aguas residuales con carga orgánica y nutrientes (nitrógeno, fósforo) en cuerpos receptores o el suelo. Es importante señalar que la actividad en su escala actual no implica deforestación ni ocupación de nuevas áreas; sin embargo, la disposición inadecuada de residuos orgánicos puede atraer vectores (moscas, roedores), afectando la fauna local y la salud comunitaria. Por su parte, el transporte asociado a la porcicultura de autoconsumo y baja actividad productiva es mínimo y se realiza de manera artesanal o local, dado que la mayor parte de la producción se destina al consumo familiar directo. Esto quiere decir que, que el traslado de animales para los mataderos si no se realiza en las mismas casas se

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (2025)
	realiza esporádicamente, este se puede realizar en pequeños vehículos, motos o a caballo.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.172 Actividades propias del proyecto (Actividades con proyecto)

ETAPA		ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	**Construcción de infraestructura y montaje de equipos**	Operación de casinos, oficinas y campamentos	Almacenamiento de insumos peligrosos y no peligrosos, disposición de residuos sólidos y la operación de sistema de tratamiento de agua (abastecimiento y vertimiento)
		Transporte y acarreos	Cargue, transporte y descargue de agregados, material proveniente de la excavación, material proveniente de la remoción de la cobertura vegetal y suelo orgánico, así como también transporte de maquinaria y equipos, insumos, residuos de construcción y productos químicos entre otros. Se incluye además el transporte del personal de la obra
		Desmonte	Retiro de la cobertura vegetal para todas las actividades constructivas. Incluye zona de tajo, los depósitos, las vías, etc.
		Descapote	Retiro del suelo orgánico, previo al desarrollo de las actividades de construcción.
		Excavaciones y voladuras	Proceso de remoción de material o roca de un lugar. La excavación incluye operaciones de profundización, ruptura y cargue del material removido. Incluye construcción del tajo.
		Adecuación, operación y mantenimiento de zonas de depósito, plataformas e infraestructura asociada, y áreas de movilidad y multipropósito.	Construcción de obras de arte, sistemas de drenaje y adecuación de sitios para la disposición de material proveniente de las excavaciones, suelo orgánico, desmonte, escombros, etc.
		Preparación de concretos y agregados	Incluye suministro de agua para preparación de concretos.
		Construcción, operación y mantenimiento de obras civiles	Construcción de edificaciones e infraestructura, construcción de obra negra y obra blanca, obras de drenaje y señalización, construcción de sistemas de captación, bombeo, potabilización y distribución de agua. Aplica para las instalaciones temporales y definitivas como: almacenes, campamentos, talleres, bodegas, estación de ciclones, planta de beneficio, sistemas de tratamiento de agua potable y aguas residuales, además de las obras civiles para las desviaciones de cauces.
		Construcción, operación y	Instalación de sub-base, base, pavimento asfáltico o concreto, construcción de obras de arte y señalización.

ETAPA		ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
		mantenimiento de vías	
		Construcción de obras hidráulicas	Construcción de obras de drenaje y ocupaciones de cauce.
OPERACIÓN	Actividades preliminares	Operación de casinos, oficinas y campamentos	Disposición de residuos sólidos y la operación de sistema de tratamiento de agua (abastecimiento y vertimiento)
		Operación y mantenimiento de maquinaria y equipos	Operación y desarrollo de actividades preventivas para el adecuado funcionamiento de la maquinaria y el equipo requeridos en la fase de operación: limpieza, cambio de aceite y lubricación, entre otros. Dentro de esta actividad también se incluye la operación constante de plataformas y áreas de movilidad y multipropósito, donde se llevan a cabo procesos técnicos específicos del proyecto.
		Transporte y acarreos	Transporte del material retirado desde el sitio de extracción o tajo hasta las pilas de almacenamiento o el depósito según sea el caso (depósitos de estériles, suelo orgánico). Incluye transporte de los explosivos desde el sitio de almacenamiento hasta el tajo, transporte de personal y transporte de maquinaria e insumos para el proceso minero.
		Operación de estaciones de servicio	Operación de estaciones para el almacenamiento y suministro de combustibles.
		Operación y mantenimiento de obras hidráulicas	Se refiere a la operación y mantenimiento de diques, canales y demás obras hidráulicas
		Generación de energía (gas)	La actividad de generación de energía corresponde a la instalación y operación de una central eléctrica destinada a suministrar electricidad al proyecto a partir del aprovechamiento del gas proveniente de la infraestructura de gas existente. La central contará con cuatro motores a gas, con una capacidad instalada total de 44 MW, suficiente para cubrir las demandas máximas del proyecto, estimadas en 30 MW. Tres motores estarán en operación continua y uno quedará en reserva. Se integrarán sistemas de desconexión de carga para gestión y seguridad operativa. El propietario de la tubería será el responsable de proporcionar la conexión hasta el sitio y ejecutar la construcción de la central.
	Extracción	Operación depósitos de materiales	Descargue, disposición y esparcimiento del material en el depósito de estériles, suelo orgánico y saprolito.
		Desmonte	Retiro de la cobertura vegetal en el tajo, área de manejo de colas y zonas de depósito.
		Descapote	Retiro del suelo orgánico en el tajo, área de manejo de colas y zonas de depósito.
		Arranque mecánico y cargue	Retiro del material fragmentado y carga de camiones.

ETAPA		ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
		Almacenamiento de roca	Almacenamiento temporal del material fragmentado previo al transporte para el beneficio y transformación, realizado en el área del tajo que a este momento aún está sin explotar, o en la plataforma de facilidades mineras.
		Adecuación y Mantenimiento de Vías Mineras	Adecuación de vías mineras por medio de perfilado y nivelación en aquellos sectores que lo requiera. Inspección de obras de arte, retiro de obstrucciones y rehabilitación de las que se encuentren en mal estado. Mantenimiento de señalización.
	Beneficio y transformación	Preparación y distribución de insumos químicos para el proceso	Preparación de los insumos para el proceso de beneficio y transformación, así como su distribución a las distintas áreas.
		Trituración Primaria	Se realiza con el fin de disminuir el tamaño del mineral proveniente de los tajos y de este modo facilitar el manejo del material en la planta. Una vez finalizado este proceso se apila y se transporta al circuito de molienda.
ABANDONO Y CIERRE	**Abandono y cierre**	Desmantelamiento / Demoliciones	Demolición de la infraestructura asociada al proceso minero, tal como planta de beneficio, talleres de mantenimiento, estaciones de bombeo, estaciones de ciclones, entre otras. Hace parte de esta actividad el retiro de estaciones de bombeo, retiro de tuberías y ductos de transporte de colas, así como la neutralización de los residuos de combustibles y aceites y colas de lixiviación presentes en estas redes.
		Adecuaciones a las lagunas de sedimentación	Remoción de sedimentos, demolición de las presas y desagüe de hacia las fuentes originales.
		Transporte y acarreo	Transporte de suelo para las actividades de rehabilitación y de escombros del proceso de desmantelamiento, así como también el acarreo de insumos y materiales asociados a la etapa de cierre.

Fuente: Integral S.A., 2025

Finalmente, el modelo de la matriz de doble entrada se presenta en la Tabla 2.173 para la evaluación sin proyecto y en la Tabla 2.174 para la evaluación con proyecto.

2.3.9.2 Identificación de impactos

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018: "*El área de influencia de un proyecto, obra o actividad se define como la zona en la cual se manifiestan los impactos ambientales significativos, y su identificación y delimitación está estrechamente vinculada a la caracterización ambiental y a la evaluación ambiental*" (p. 90). En ese orden de ideas, los impactos a los que hace referencia un Estudio de Impacto Ambiental son los impactos significativos, que se definen como "aquellos impactos negativos directos, indirectos, sinérgicos y/o acumulativos, que por la afectación que producen al ambiente resultan de importancia para la sociedad, que los valora tomando en consideración múltiples perspectivas a fin de tomar una decisión respecto

de la viabilidad ambiental de emprender el proyecto que los generaría" (MADS_ANLA, 2018, p. 90)

En la Tabla 2.173, se presenta la matriz de doble entrada propia del territorio para actividades sin proyecto (matriz de impactos) que se utilizará para la identificación de la presencia o no de impactos generados por cada actividad, sobre cada elemento del ambiente. Igual sucede con la Tabla 2.174 que presenta la matriz de doble entrada que enfrenta los elementos de ambiente con las actividades propias del proyecto. Producto de esta matriz de impactos se identifican los impactos con potencial de generación.

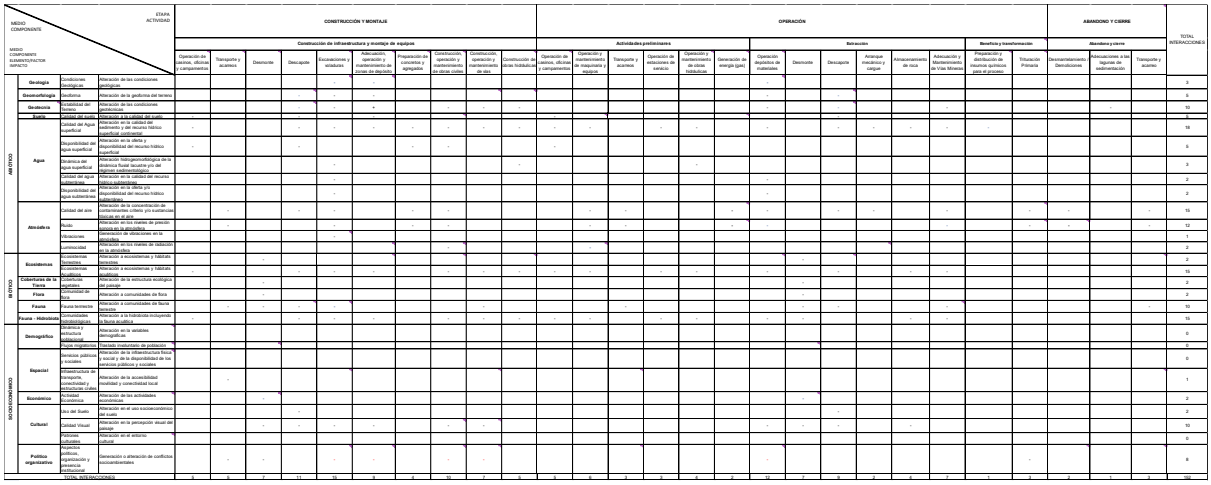
Teniendo en cuenta que el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote cuenta con licencia ambiental y por tanto, con una evaluación ambiental; y que la evaluación ambiental ha declarado para el proceso de licenciamiento (Resolución 1514/2015) y su primera modificación de licencia (Resolución 0782/2019) los impactos ambientales identificados; todos previos al año 2021, año en el que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA publicó el documento denominado "Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de proyectos licenciados por ANLA", se hace necesaria una actividad de homologación de impactos, que consiste en renombrar los impactos identificados en 2015 a la denominación propuesta por esta autoridad. Esta homologación se presenta en la Tabla 2.175. El detalle del proceso de homologación se presenta en ANEXOS_GENERALIDADES_EVALUACION_Homologacion_Impactos en dónde se desarrolló la Homologación de impactos ambientales a partir del documento de "Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de proyectos licenciados por ANLA" (ANLA, 2023).

Tabla 2.173 Matriz de impactos propia del territorio (Actividades sin proyecto)

MEDIO	COMPONENTE		ACTIVIDAD	MINERÍA DE ORO (ALUVIÓN)	MINERÍA DE ORO FORMALIZADA (VETA)	EXTRACCIÓN ILÍCITA O INFORMAL DE MINERALES	BENEFICIO DEL ORO EN PLANTAS DE BENEFICIO NO LICENCIADAS	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL DE ARRASTRE DE LAS PLAYAS ALUVIALES (RIO NUS Y QUEBRADA PALESTINA)	GANADERÍA	AGRICULTURA	PESCA	PISCICULTURA	PORCICULTURA	GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA (PCH)	PRODUCCIÓN DE PANELA	OFERTA DE BIENES Y SERVICIOS	ACTIVIDADES DOMÉSTICAS EN NÚCLEOS URBANOS Y VIVIENDA DISPERSAS	FUNCIONAMIENTO DE ORGANIZACIONES COMUNITARIAS Y PRODUCTIVAS	MINERÍA DE ORO (CIELO ABIERTO-PROYECTO GRAMALOTE)	TOTAL INTERACCIONES
BIÓTICO	Ecosistemas	Ecosistemas Terrestres	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres		-	-			-	-										-	5
		Ecosistemas Acuáticos	Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-			-		-	13
	Coberturas de la Tierra	Coberturas vegetales	Alteración de la estructura ecológica del paisaje	-	-	-			-	-										-	6
	Flora	Comunidad de flora	Alteración a comunidades de flora	-	-	-			-	-										-	6
	Fauna	Fauna terrestre	Alteración a comunidades de fauna terrestre		-	-			-	-										-	5
	Fauna - Hidrobiota	Comunidades hidrobiológicas	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-			-	14
SOCIOECONÓMICO	Demográfico	Dinámica y estructura poblacional	Alteración en la variables demográficas		-	-											-			-	4
		Flujos migratorios	Traslado instantaneo de población																	-	1
	Espacial	Servicios públicos y sociales	Alteración de la infraestructura física y social y de la disponibilidad de los servicios públicos y sociales		-	-											-				3
		Infraestructura de transporte, conectividad y estructuras viales	Alteración de la accesibilidad movilidad y conectividad local		-	-									-		-			-	5
	Económico	Actividad Económica	Alteración de las actividades económicas	+	+	+	+		+	+		+			+	+			+	+	11
	Cultural	Uso del Suelo	Alteración en el uso socioeconómico del suelo		-	-											-			-	4
		Calidad Visual	Alteración en la percepción visual del paisaje		-	-			-			-					-			-	6
		Patrones culturales	Alteración en el entorno cultural		-	-														-	3
	Político organizativo	Aspectos políticos, organización y presencia institucional	Generación o alteración de conflictos socioambientales	-	-	-	-						-	-				+		-	8
TOTAL INTERACCIONES				12	25	25	10	5	11	11	1	11	5	5	8	1	11	2	22	165	

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.174 Matriz de doble entrada propias del proyecto (Actividades con proyecto)



Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.175 Homologación de impactos

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Medio abiótico			
Geología	-	Alteración de las condiciones geológicas	Cambio de las unidades litológicas y rasgos estructurales como consecuencia de un proyecto, obra o actividad, específicamente generando una alteración o meteorización química de macizo rocoso (fondos rocosos, roca, condiciones de roca, entre otros)
Geología	Alteración de la geoforma	Alteración de la geoforma del terreno	Cambio en la forma del terreno como consecuencia de un proyecto, obra o actividad que modifica la dinámica existente de los procesos geomorfológicos.
Geología	Pérdida de la estabilidad del terreno	Alteración de las condiciones geotécnicas	Cambio en la estabilidad del terreno como consecuencia de un proyecto obra o actividad
Suelo	Alteración de las propiedades FQ y microbiológicas del suelo	Alteración a la calidad del suelo	Cambio en las características y propiedades físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del suelo como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Suelo	Pérdida de suelo	Alteración a la calidad del suelo	
Suelo	Cambio en el uso del suelo	Alteración en el uso socioeconómico del suelo	Cambio en el uso social y económico del suelo como consecuencia de la ejecución de un proyecto, obra o actividad
Suelo	Alteración de los servicios base del suelo	Alteración en el uso socioeconómico del suelo	

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Agua	Alteración de la calidad del agua superficial	Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental	Cambio en las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas superficiales o los sedimentos como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Agua	Alteración de la disponibilidad del agua superficial	Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial	Cambio de los caudales y/o volúmenes en un cuerpo de agua superficial que causan una modificación de la oferta hídrica y su disponibilidad como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Agua	Alteración de la dinámica del agua superficial	Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico	Cambio en la dinámica hidrogeomorfológica del sistema fluvial, lacustre y/o sedimentológico generado por un POA que origina cambios en el cuerpo de agua como: activación de procesos erosivos, represamientos, inundaciones, movimientos en masa, entre otros.
Agua	Alteración de los servicios base del agua	Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial; Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico	Se encuentra inmerso en los impactos de Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial; Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico (ver definiciones de los impactos, correspondientes)
Servicios ecosistémicos	Alteración de los servicios de regulación del agua	Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial; Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico	Se encuentra inmerso en los impactos de Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial; Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial lacustre y/o del régimen sedimentológico (ver definiciones de los impactos, correspondientes)
Agua	Alteración de la calidad del agua subterránea	Alteración en la calidad del recurso hídrico subterráneo	Cambio en las características fisicoquímicas y/o microbiológicas de las aguas subterráneas o su zona de recarga como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Agua	Alteración de la disponibilidad del agua subterránea	Alteración en la oferta y/o disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	Cambio en el volumen de agua de un acuífero determinado o en sus zonas de recarga que causan una modificación en la oferta de aguas subterráneas como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Agua	Alteración de la dinámica del agua subterránea	Alteración en la oferta y/o disponibilidad del recurso hídrico subterráneo	

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Atmósfera	Alteración de la calidad del aire	Alteración de la concentración de contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire	Cambio en las concentraciones de los contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire producto de las emisiones generadas como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Atmósfera	Aumento en los niveles de presión sonora	Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera	Cambio en los niveles de ruido ambiental en la atmósfera como consecuencia de las emisiones sonoras de un proyecto, obra o actividad.
Atmósfera	-	Generación de vibraciones en la atmósfera	Aumento de las vibraciones en las infraestructuras como consecuencia de la generación de ondas sonoras en la atmósfera de un proyecto, obra o actividad.
Atmósfera	-	Alteración en los niveles de radiación en la atmósfera	Cambio en los niveles de radiación ionizante y/o no ionizante en la atmósfera, como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Paisaje	Pérdida de sitios de interés paisajístico	Alteración en la percepción visual del paisaje	Cambio en la percepción visual del paisaje resultado de la alteración en los atributos paisajísticos relacionados con: i) calidad visual; ii) fragilidad visual; iii) integridad escénica; y iv) visibilidad; como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Suelo	Alteración del paisaje	Alteración en la percepción visual del paisaje	
Medio biótico			
Ecosistemas terrestres	Modificación de las poblaciones de flora	Alteración a comunidades de flora	Cambio en las comunidades de flora como consecuencia de un POA que generen: i) Disminución de individuos o ejemplares de una o más especies, ii) Modificación de poblaciones, iii) Cambio en su composición, estructura y función
Ecosistemas terrestres	Modificación de la cobertura vegetal	Alteración de la estructura ecológica del paisaje	Cambio en la extensión (área), forma (geometría) y distribución de las coberturas vegetales y función (según Corine Land Cover 2.3.2, 2.4, 3 y 4.1.3) como consecuencia de un POA que generan: i) Disminución de coberturas, ii) efectos de borde, iii) fragmentación de coberturas, iv) disminución de la conectividad estructural y funcional, entre otros

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Ecosistemas terrestres	Fragmentación de hábitats	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	Cambio en los ecosistemas y hábitats terrestres como consecuencia de un POA que generan: i) Cambios en disponibilidad de hábitats terrestres; ii) Alteración de procesos ecológicos (alimento, refugio, zonas de reproducción, corredores de movimiento, interacciones ecológicas, etc.), entre otros.
Servicios ecosistémicos	Alteración de los servicios culturales de la flora	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres, Alteración a comunidades de flora y Alteración en la percepción visual del paisaje	Se encuentra inmerso en los impactos de Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres, Alteración a comunidades de flora y Alteración en la percepción visual del paisaje (ver definiciones de los impactos, correspondientes)
Ecosistemas terrestres	Pérdida de individuos de las poblaciones de fauna terrestre	Alteración a comunidades de fauna terrestre	Cambio en el comportamiento, distribución, supervivencia, habilidad reproductiva, composición y estructura, entre otros, de la fauna silvestre, como consecuencia de la interacción directa o indirecta con el ser humano en la ejecución de un proyecto, obra o actividad.
Ecosistemas terrestres	Modificación de las poblaciones de fauna terrestre	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	Cambio en los ecosistemas y hábitats terrestres como consecuencia de un POA que generan: i) Cambios en disponibilidad de hábitats terrestres; ii) Alteración de procesos ecológicos (alimento, refugio, zonas de reproducción, corredores de movimiento, interacciones ecológicas, etc.), entre otros.
Ecosistemas terrestres	Alteración de los servicios base de la fauna	Alteración a comunidades de fauna terrestre y Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	Se encuentra inmerso en los impactos de Alteración a comunidades de fauna terrestre y Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres (ver definiciones de los impactos, correspondientes)
Ecosistemas Acuáticos	Alteración y/o modificación de hábitats acuáticos	Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos	Cambio en los ecosistemas y hábitats acuáticos, marinocosteros o continentales como consecuencia de un POA que generan: i) Cambios en disponibilidad del hábitat, paisaje ecológico acuático o interacciones ecológicas ii) Cambio en la conectividad ecosistémica, entre otras.

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Ecosistemas Acuáticos	Pérdida de individuos de flora y fauna acuática	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	Cambio en las comunidades hidrobiológicas (continentales, marinas o costeras) como consecuencia de un POA que generan: i) Alteración de las poblaciones y/o comunidades acuáticas, ii) Cambios en la riqueza, composición, abundancia y diversidad de las especies, en la distribución, comportamiento, entre otras
Ecosistemas Acuáticos	Alteración en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	Cambio en las comunidades hidrobiológicas (continentales, marinas o costeras) como consecuencia de un POA que generan: i) Alteración de las poblaciones y/o comunidades acuáticas, ii) Cambios en la riqueza, composición, abundancia y diversidad de las especies, en la distribución, comportamiento, entre otras
Medio socioeconómico			
Demográfico	Cambio en los flujos migratorios	Alteración en las variables demográficas	Cambio en la estructura demográfica, en la distribución espacial de la población y sus efectos en la dinámica poblacional
Demográfico	Desplazamiento involuntario de la población	Traslado involuntario de población	Relocalización involuntaria de unidades sociales residentes, productivas o mixtas, como consecuencia de las actividades de un proyecto, obra o actividad.
Demográfico	Afectación de las condiciones de salud de la población	-	Impactos excluidos de la estandarización de la ANLA. Por ende, no se considerarán en adelante
Espacial	Alteración en los servicios públicos y sociales	Alteración de la infraestructura física y social y de la disponibilidad de los servicios públicos y sociales	Cambio en las condiciones de cobertura, calidad y/o disponibilidad de los servicios públicos y sociales, modificación de la infraestructura física y social que se generan como consecuencia de un POA relacionadas con: i) Agua para consumo humano y actividades económicas ii) Servicios de salud, iii) educación, iv) Energía y telecomunicaciones, v) Gestión de residuos líquidos y sólidos, vi) Vivienda e infraestructura productiva, vii) infraestructura/equipamiento comunitario, y escenarios de recreación activa y pasiva, entre otros.

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Espacial	Alteración de la infraestructura de transporte, conectividad y estructuras civiles	Alteración de la accesibilidad movilidad y conectividad local	Cambio en los flujos, frecuencias, tipos de movilidad, acceso de las comunidades a centros nucleados y/o territorio, tiempos de desplazamiento, seguridad vial, entre otros, como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.
Espacial	Aumento de la accidentalidad vial	Alteración de la accesibilidad movilidad y conectividad local	
Económico	Modificación en las finanzas municipales	-	Impactos excluidos de la estandarización de la ANLA. Por ende, no se considerarán en adelante
Económico	Cambio en las actividades productivas	Alteración de las actividades económicas	Cambio en los incentivos, estímulos y/o condiciones para el desarrollo de las actividades económicas como consecuencia de un proyecto, obra o actividad, que generan: i) Modificación en la estructura de la propiedad, dependencia y formas de tenencia ii)Cambio en actividades productivas de los sectores primario, secundario y terciario; iii) Modificación de programas y proyectos productivos privados, públicos y/o comunitarios existentes, iv) Cambio en las características del mercado laboral actual en cuanto al tipo de mano de obra que se encuentra en el área y su condición laboral, v) Cambio en la tendencias del empleo en el corto y mediano plazo, vi) afectación de recursos naturales necesarios para las actividades de subsistencia, entre otros.
Económico	Dinamización de la economía local	Alteración de las actividades económicas	
Cultural	Alteración de los patrones culturales	Alteración en el entorno cultural	Cambio en la relación con el entorno, tradiciones y costumbres, como consecuencia de la ejecución de un proyecto, obra o actividad.
Cultural	Pérdida o deterioro del patrimonio arqueológico, histórico o arquitectónico	-	Impactos excluidos de la estandarización de la ANLA. Por ende, no se considerarán en adelante
Político	Potenciación de conflictos sociales	Generación o alteración de conflictos socioambientales	Conflictos generados o modificados como consecuencia de un POA relacionadas con: i) Cambio en el acceso, uso, distribución y conservación de un

Componente	Impacto declarado licencia ambiental	Impacto estandarizado y jerarquizado ANLA 2023	Definición ANLA del impacto
Político	Acciones colectivas y organizaciones sociales	Generación o alteración de conflictos socioambientales	recurso natural, y/o ii) Cambio en la organización comunitaria, y/o iii) Cambio en los lazos de interrelación entre los ciudadanos y sus instituciones, iv) Cambio en la frecuencia de solicitudes y/o uso de las instancias y de mecanismos de participación, v) Generación de expectativas, entre otros.

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de del documento de "Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de proyectos licenciados por ANLA" (ANLA, 2023) y estudios ambientales del GCL EIA (2015), (2018)

2.3.9.3 Valoración de impactos

La valoración de impactos, tal como lo establece la metodología de Conesa es cualitativa y cuantitativa. Los parámetros por evaluar son: signo, intensidad, extensión, momento, persistencia o duración, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad, que conjugados definen la importancia del impacto. Para calificar cada interacción se propone un formato que define la calificación de cada atributo con su justificación; en la Tabla 2.176 se presenta el modelo de ficha para la calificación de los impactos y adelante se describe cada uno de los atributos.

Tabla 2.176 Ficha para la calificación de los impactos calificados como críticos o severos

NOMBRE DEL IMPACTO												
DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO												
MEDIO												
COMPONENTE												
FACTOR												
SECTOR												
ACTIVIDADES	CALIFICACIÓN / JUSTIFICACIÓN											
	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Importancia del impacto
												Valor
												Cualitativo / Cuantitativo
SECTOR												
ACTIVIDADES	CALIFICACIÓN / JUSTIFICACIÓN											
	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Importancia del impacto
												Valor
												Cualitativo / Cuantitativo

Fuente: Integral S.A., 2025

-1- Signo: el signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados. El impacto se considera positivo cuando el resultado de la acción sobre el factor ambiental considerado produce una mejora de la calidad ambiental de este último. El punto se considera negativo cuando el resultado de la acción produce una disminución de la calidad ambiental del factor ambiental considerado. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 237).

-2- Intensidad (In): este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. Expresa el grado de destrucción del factor considerado en el caso en que se produzca un efecto negativo, independientemente de la extensión afectada. Puede producirse una destrucción muy alta, pero en una extensión muy pequeña.

El baremo [norma] de valoración estará comprendido entre 1 y 12, en el que el (12) expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto, Intensidad en grado Total; el (1) una afectación mínima y poco significativa Intensidad Baja o Mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias Intensidad Notable o de Intensidad Muy alta (8); Intensidad Alta (4); Intensidad Media (2). (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 238).

-3- Extensión (Ex): La Extensión es el atributo que refleja la fracción del medio afectado por la acción del proyecto. Se refiere, en sentido amplio, al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en que se sitúa el factor. Este atributo recibe también la denominación de Escala espacial o dimensión. Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter Puntual (1). Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será Total (8), considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto Parcial (2) y Extenso (4). (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 239).

-4- Momento (Mo): El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo (tm) que transcurre entre la aparición de la acción (to) y el comienzo del efecto (tj) sobre el factor del medio considerado.

El impacto será de manifestación inmediata cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea nulo, asignándole un valor (4). EL impacto será de manifestación a corto plazo cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto inferior a un año, asignándole un valor (3). Si es un período de tiempo que va de 1 a 10 años, Medio Plazo (2), y si el efecto tarda en manifestarse más de diez años, Largo Plazo, con valor asignado (1).

Si concurriese alguna circunstancia que hiciese crítico el plazo de manifestación del impacto, cabría atribuirle un valor de una a cuatro unidades por encima de las especificadas. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 239).

-5- Persistencia o duración (PE): Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción.

La duración del efecto, y por tanto el momento de retorno tr, en cuanto a este atributo (PE), es independiente de otras características del efecto, tales como reversibilidad, recuperabilidad, etc. Intentaremos pronosticar el momento de retorno (tr), haya o no cesado la acción, sea o no reversible, sea o no recuperable.

El impacto temporal permanece sólo por un tiempo limitado, haya finalizado o no la acción. El impacto permanente no cesa de manifestarse de manera continua, durante un tiempo ilimitado. Cuando la permanencia del efecto, por las circunstancias que sea, es mínima o

mula (cese la acción o no, cesa la manifestación del efecto que aquella produce en el factor considerado, el efecto se considera Efímero o Fugaz), tomando un valor de (1).

Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, consideramos que la acción produce un efecto Momentáneo, asignándole un valor de (1). Si dura entre 1 y 10 años, Temporal propiamente dicho, o Transitorio (2); y si permanece entre 11 y 15 años, Persistente, Pertinaz o Duradero (3). Si la manifestación tiene una duración superior a los 15 años, consideramos el efecto como Permanente o Estable, asignándole un valor (4). A efectos prácticos aceptamos como Constante un impacto permanente, con una duración ilimitada de la manifestación del efecto.

Los efectos permanentes son irreversibles, y pueden ser recuperables o irrecuperables. Los efectos de permanencia constante irán asociados a los irreversibles e irrecuperables. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 240).

-6- Reversibilidad (RV): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez ésta deja de actuar sobre el medio.

El efecto reversible puede ser asimilado por los procesos naturales del medio, mientras que irreversible no puede ser asimilado o serlo, pero al cabo de un largo período de tiempo. El impacto será reversible cuando el factor ambiental alterado puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un período inferior a 15 años. Si es a Corto Plazo, se le asigna un valor (1), si es a Medio Plazo (2), y a Largo Plazo (3). Los intervalos de tiempo que comprenden estos períodos son los mismos asignados para el atributo anterior.

El impacto será irreversible cuando el factor ambiental alterado no puede retornar, sin intervención humana, a sus condiciones originales en un período inferior a 15 años. Al efecto irreversible le asignamos el valor de (4). (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 244).

-7- Recuperabilidad (MC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana, o sea, mediante la introducción de medidas correctoras y restauradoras.

Si el efecto es totalmente Recuperable o neutralizable, se le asigna un valor (1), (2), (3) o (4) según lo sea de manera inmediata (Impacto Inmediato), a corto plazo o a medio y largo plazo. Cuando el efecto es Irrecuperable le asignamos el valor (8).

En el caso de que la alteración se recupere parcialmente, al cesar o no, la presión provocada por la acción, y previa incorporación de Medidas Correctoras, el impacto será Mitigable, atribuyéndosele el valor (4). En el caso de que se presente un impacto irrecuperable, pero exista la posibilidad de introducir medidas compensatorias, estaremos ante un Impacto Compensable, el valor adoptado será (4). El mismo valor adquirirá el impacto cuando exista la posibilidad de introducir medidas curativas y recuperadoras.

Cuando el tiempo de reconstrucción de un efecto recuperable, producido en el factor considerado, sea superior a 15 años, consideramos el efecto irrecuperable. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 245).

-8- Sinergia (SI): La sinergia se refiere a la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

Cuando una acción actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el atributo toma el valor (1), si se presenta un sinergismo moderado (2) y si es altamente sinérgico, potenciándose la manifestación de manera ostensible (4). Cuando se presenten casos de debilitamiento o minoración (sinergia negativa), la valoración

del efecto presentará valores de signo negativo, reduciendo al final el valor de la Importancia del Impacto. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 249).

-9- Acumulación (AC): Este atributo, da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación ni en la de su sinergia (no hay efectos acumulativos), nos encontramos ante un caso de acumulación simple, valorándose como (1).

Cuando una acción al prolongarse en el tiempo incrementa progresivamente la magnitud del efecto, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto, estamos ante una ocurrencia acumulativa, incrementándose el valor a (4). (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 251).

-10- Efecto (EF): Este atributo se refiere a la relación causa – efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. El efecto puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta. En el caso en el que el efecto sea indirecto o secundario, su manifestación pues, no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando éste como una acción de segundo orden. El impacto indirecto es parte de una cadena de reacciones.

Los impactos indirectos, por ser consecuencia de una consecuencia, pueden ser difíciles de predecir, identificar, y evaluar, pero no deben excluirse de los EsIA. El efecto toma el valor (1) en el caso de que sea indirecto o secundario, y el valor (4) cuando sea directo o primario. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 252).

-11- Periodicidad (PR): La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera continua (las acciones que lo producen permanecen constantes en el tiempo), o discontinua (las acciones que lo producen actúan de manera regular (intermitente) o irregular o esporádica en el tiempo.

Consideramos que la periodicidad discontinua es periódica, cíclica o intermitente, cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y una cadencia establecida. Calificamos la periodicidad como aperíodica o irregular propiamente dicha, cuando la manifestación discontinua del efecto se repite en el tiempo de una manera irregular e imprevisible sin cadencia alguna. Se supone esporádica o infrecuente cuando la acción que produce el efecto, y por tanto su manifestación, son infrecuentes, presentándose con carácter excepcional.

A los efectos continuos se les asigna un valor (4), a los periódicos (2) y a los de aparición irregular (aperiódicos y esporádicos), que deben evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia (1).

En los casos, en que así lo requiera la relevancia de la manifestación del impacto, a los impactos irregulares (aperiódicos y esporádicos), se les designará un valor (2), e incluso (3) o (4), ya que precisamente la imprevisibilidad de su aparición puede potenciar el grado de manifestación del efecto. Este hecho, también puede impedir la aplicación de medidas correctoras, al no poder precisar los estadios temporales en que se presentará la acción. (Conesa Fdez_Vítora, 2010, p. 253).

-12- Importancia del Impacto (I): Ya se ha apuntado que la importancia del impacto, o sea, la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental es la estimación con base en el grado de manifestación cualitativa del efecto.

La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce mediante el modelo propuesto en el cuadro 36, en función del valor asignado a los símbolos considerados.

I = ± [3 IN + 3 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]

De acuerdo con esta función, la importancia del impacto toma valores entre 13 y 100.

La importancia del impacto, presenta valores intermedios (entre 40 y 60) cuando se da alguna de las siguientes circunstancias: (1) intensidad total y afectación mínima de los restantes símbolos; (2) intensidad muy alta o alta, y afectación alta o muy alta de los restaurantes símbolos; (3) intensidad alta, efecto irrecuperable y afectación muy alta de alguno de los restantes símbolos; o (4) intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afectación muy alta de al menos dos de los restantes símbolos.

Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes o sea de acuerdo con el Reglamento, compatibles (reducidos, si presenta el carácter de positivo). Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Serán severos cuando la importancia se encuentre 50 y 75 y críticos cuando el valor sea superior a 75.

En la Tabla 2.177, se presentan un resumen de los criterios definidos por Conesa para calificar cada impacto, de acuerdo con lo descrito, incluyendo el rango de valoración.

Tabla 2.177 Criterios, rangos e identificador para cuantificación de impactos

Criterio	Rango	Identificador
NATURALEZA	Impacto Beneficioso (+) Impacto Perjudicial (-)	Signo
INTENSIDAD (IN)	Bajo o mínimo (1) Media (2) Alta (4) Muy alta (8) Total (12)	Grado de destrucción
EXTENSIÓN (EX)	Puntual (1) Parcial (2) Amplio o extenso (4) Total (8) Crítico (+ 4)	Área de influencia
MOMENTO (MO)	Largo plazo (1) Medio plazo (2) Corto Plazo (3) Inmediato (4) Crítico (+ 4)	Plazo de manifestación
PERSISTENCIA (PE)	Fugaz o efímero (1) Momentáneo (1) Temporal o transitorio (2) Pertinaz o Persistente (3) Permanente y Constante (4)	Permanencia del efecto
REVERSIBILIDAD (RV)	Corto plazo (1) Medio plazo (2) Largo plazo (3) Irreversible (4)	Reconstrucción por medios naturales
SINERGIA (SI)	Sin sinergismo o simple (1) Sinergismo moderado (2) Muy sinérgico (4)	Potenciación de la manifestación
ACUMULACIÓN (AC)	Simple (1) Acumulativo (4)	Incremento progresivo
EFECTO (EF)	Indirecto o secundario (1) Directo o primario (4)	Relación causa - efecto

Criterio	Rango	Identificador
PERIODICIDAD (PR)	Irregular (aperiódico y esporádico) (1) Periódico o de regularidad intermitente (2) Continuo (4)	Regularidad de la manifestación
RECUPERABILIDAD (MC)	Recuperable de manera inmediata (1) Recuperable a corto plazo (2) Recuperable a medio plazo (3) Recuperable a largo plazo (4) Mitigable, sustituible y compensable (4) Irrecuperable (8)	Reconstrucción por medios humanos
IMPORTANCIA	**I = ± [3 IN + 3 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]**	Grado de manifestación cualitativa del efecto

Fuente: Integral S.A., 2025

-13 Matriz de Importancia: la matriz de importancia total (ver modelo Tabla 2.178) presenta el grado de manifestación cualitativa del efecto, clasificado de acuerdo con la importancia que se define en la Tabla 2.179.

Tabla 2.178 Ejemplo de resultados de la matriz de importancia (total)

Medio	Componente	Factor	Impacto	Etapa	Actividad General	Actividad	Naturaleza (Signo)	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Valor importancia del impacto	Relevancia impacto
Abiótico	Suelo	Calidad del suelo	Alteración a la calidad del suelo	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Operación de casinos, oficinas y campamentos	-1	1	1	3	2	2	1	1	4	4	1	-23	Irrelevante negativo
Abiótico	Agua	Calidad del Agua superficial	Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Operación de casinos, oficinas y campamentos	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	4	4	-22	Irrelevante negativo
Abiótico	Agua	Disponibilidad del agua superficial	Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Operación de casinos, oficinas y campamentos	-1	1	1	4	2	1	1	1	1	4	4	-23	Irrelevante negativo
Biótico	Ecosistemas	Ecosistemas Acuáticos	Alteración a ecosistemas yhábitats acuáticos	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Operación de casinos, oficinas y campamentos	-1	1	1	3	3	1	2	1	4	1	2	-22	Irrelevante negativo
Biótico	Fauna - Hidrobiota	Comunidades hidrobiológicas	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Operación de casinos, oficinas y campamentos	-1	2	2	3	3	2	4	1	4	1	4	-32	Moderado negativo
Abiótico	Atmósfera	Calidad del aire	Alteración de la concentración de contaminantes criterio y/o sustancias tóxicas en el aire	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Transporte y acarreos	-1	2	2	4	1	1	1	1	4	4	4	-30	Moderado negativo
Abiótico	Atmósfera	Ruido	Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Transporte y acarreos	-1	1	2	4	1	1	1	1	4	4	4	-27	Moderado negativo
Biótico	Fauna	Fauna terrestre	Alteración a comunidades de fauna terrestre	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Transporte y acarreos	-1	4	2	4	3	2	4	1	4	4	1	-39	Moderado negativo
Socioeconómico	Espacial	Infraestructura de transporte, conectividad y estructuras civiles	Alteración de la accesibilidad movilidad y conectividad local	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Transporte y acarreos	-1	1	2	3	2	1	1	1	1	4	1	-21	Irrelevante negativo
Socioeconómico	Político organizativo	Aspectos políticos, organización y presencia institucional	Generación o alteración de conflictos socioambientales	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Transporte y acarreos	-1	2	1	4	1	1	1	2	1	1	1	-20	Irrelevante negativo
Biótico	Ecosistemas	Ecosistemas Terrestres	Alteración a ecosistemas yhábitats terrestres	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	2	1	4	3	3	4	2	4	4	4	-36	Moderado negativo
Biótico	Coberturas de la Tierra	Coberturas vegetales	Alteración de la estructura ecológica del paisaje	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	4	2	4	4	3	4	1	4	4	4	-44	Moderado negativo
Biótico	Flora	Comunidad de flora	Alteración a comunidades de flora	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	4	4	4	4	3	4	1	1	4	4	-45	Moderado negativo
Biótico	Fauna	Fauna terrestre	Alteración a comunidades de fauna terrestre	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	8	2	4	3	3	4	1	4	1	1	-49	Moderado negativo
Socioeconómico	Económico	Actividad Económica	Alteración de las actividades económicas	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	1	1	4	4	4	4	1	1	4	4	-31	Moderado negativo
Socioeconómico	Cultural	Calidad Visual	Alteración en la percepción visual del paisaje	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	2	2	4	4	4	4	1	1	4	4	-36	Moderado negativo
Socioeconómico	Político organizativo	Aspectos políticos, organización y presencia institucional	Generación o alteración de conflictos socioambientales	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	Construcción de infraestructura y montaje de equipos	Desmonte	-1	2	4	2	2	1	2	1	1	1	1	-25	Moderado negativo

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.179 Importancia del impacto / Rangos

Importancia del Impacto	Rango Importancia	Identificador
Irrelevante negativo	-24 a -13	
Moderado negativo	-50 a -25	
Severo negativo	-75 a -51	
Crítico negativo	-100 a -76	
Irrelevante positivo	13 a 24	
Moderado positivo	25 a 50	
Severo positivo	51 a 75	
Crítico positivo	76 a 100	

Fuente: Integral S.A., 2025

Adicional a la cuantificación del impacto, es necesario, sobre las actividades que generan impactos severos y críticos, no solo establecer medidas de manejo para prevenir, corregir, mitigar o compensar dicho impacto; sino hacer ajustes sobre la ingeniería del proceso minero; de tal manera que la actividad pueda desarrollarse aplicando criterios de diseño ambientales

tendientes a minimizar el impacto. Las interacciones severas o críticas que estén asociadas a modificaciones de ingeniería se marcarán como banderas rojas; las cuales se definen más adelante.

-14- Jerarquización de impactos: La guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental cierra el numeral 5.1. Importancia del impacto. Matriz de importancia con la construcción de la matriz depurada. Si bien la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecen que la metodología no debe modificarse. No se ha puesto en marcha en estudios de licenciamiento ambiental en Colombia la construcción de la matriz depurada, que no es otra cosa que la matriz de impactos luego de eliminar las interacciones cuyo grado de importancia sean irrelevantes e incluso moderados. Esto con el objetivo de concentrar los esfuerzos en el diseño de planes de manejo exclusivamente para impactos severos o críticos. INTEGRAL propone, para fines de interpretación como alternativa a la matriz depurada, jerarquizar numéricamente los impactos para calificar los impactos no solo como críticos, severos, moderados o irrelevantes, sino el orden jerárquico entre ellos y evidenciar las diferencias en orden de magnitud entre ellos.

Esto evidencia los impactos de mayor importancia y permite clasificar para cada medio o incluso para cada componente cuál es la actividad más relevante y sobre la cual se deben tener mayores controles a la hora de la ejecución. Esta jerarquización facilita la interpretación.

Finalmente, jerarquizados los impactos, se asocia una columna con la denominación del plan de manejo asociado; y que servirá para prevenir, corregir, mitigar o compensar los impactos identificados asociados al proyecto.

2.3.9.3.1 Impactos acumulativos y sinérgicos

Si bien la metodología de V. Conesa Fdez–Vítora (2010) no plantea un tratamiento diferenciado para los impactos acumulativos, sinérgicos y residuales, los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera (TdR-13) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecen que: “La evaluación debe considerar, especialmente, los impactos residuales, acumulativos y sinérgicos generados por la ejecución del proyecto, contemplando su relación con el desarrollo de otros proyectos ubicados en el área de influencia”. En concordancia con lo anterior, y de manera complementaria a la metodología de Conesa, se incorpora en este estudio un análisis específico de los impactos acumulativos, sinérgicos y residuales, tal como lo exigen los términos de referencia.

A. Impactos acumulativos

Con el fin de complementar la valoración de impactos y dar cumplimiento a la exigencia de considerar efectos acumulativos (sucesivos, incrementales y/o combinados) en relación con otros proyectos existentes y razonablemente previsibles, se aplicó una Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos (EGIA), establecido en el “ ” (International Finance Corporation, 2015), entendida como un proceso iterativo que permite estimar la condición futura de componentes ambientales y sociales valorados bajo múltiples presiones (proyecto + otros emprendimientos + factores naturales). Esta aproximación se estructuró en seis pasos, que integraron evaluación preliminar, definición de línea base para componentes valorados, análisis de contribución del proyecto y determinación de significancia, seguida por medidas de gestión y monitoreo. A continuación, se presentan los pasos detallados para el desarrollo de esta metodología:

- Definición del alcance: Se seleccionaron los componentes ambientales y sociales valorados (VEC) susceptibles a acumulación (tales como calidad y disponibilidad hídrica, sedimentos, hábitats, conectividad, paisaje, servicios ecosistémicos y receptores sociales), y se definieron límites espaciales y temporales por VEC (no solo

el área directa, sino el ámbito donde el efecto podía propagarse y el horizonte del ciclo de vida del proyecto).

- Inventario de presiones concurrentes: Se identificaron y consolidaron las presiones asociadas al proyecto y a otras acciones presentes o razonablemente previsibles en el área de influencia (otros proyectos/actividades y factores naturales relevantes), verificando su coexistencia mediante análisis espacial y revisión de información secundaria oficial. Para ello, se realizó el cruce entre el área del proyecto y la información geográfica disponible en el geoportal de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (consulta 2025), con el fin de identificar posibles superposiciones o coexistencias relevantes para el análisis acumulativo.
- Condición actual y tendencia de los VEC: Se estableció la condición de referencia de cada VEC con la línea base del EIA y fuentes complementarias, describiendo su tendencia (mejoría/deterioro/estabilidad) y los factores que la controlan, incluyendo variabilidad natural cuando fue pertinente.
- Evaluación de acumulación y contribución del proyecto: Para cada VEC se analizó la concurrencia espacial y temporal de presiones y se evaluó la contribución incremental del proyecto dentro del "paquete" de presiones, documentando el mecanismo de acumulación (persistencia, reiteración, falta de recuperación del medio, conectividad hidrológica/ecológica) y su relación con los impactos significativos identificados.
- Determinación de significancia acumulativa: La significancia se definió comparando la condición esperada del VEC frente a umbrales, objetivos o referencias de desempeño (cuando existieron) y, en su ausencia, con criterios conservadores basados en sensibilidad del receptor, reversibilidad/recuperabilidad y riesgo de pérdida de funcionalidad; se consideró significativo cuando requería medidas adicionales o ajuste de medidas existentes.
- Gestión y seguimiento: En esta etapa se definieron las medidas de manejo aplicables a los impactos identificados como acumulativos. No obstante, dado que en la estructura del EIA la formulación de medidas se desarrolla en el Capítulo 10. Planes y Programas, la descripción detallada de dichas medidas y de su esquema de seguimiento se presentó en ese capítulo, manteniendo la trazabilidad con los impactos acumulativos priorizados.

B. Impactos sinérgicos

En concordancia con la metodología de Conesa (2010), la evaluación de impactos sinérgicos se fundamentó en el atributo Sinergia (SI), entendido como la situación en la cual el efecto combinado de dos o más acciones o presiones sobre un mismo receptor fue superior a la suma de sus efectos individuales. La identificación del sinergismo se realizó con posterioridad a la valoración de impactos, mediante la revisión del atributo SI asignado en cada interacción, conforme a su escala: SI = 1 cuando no se evidenció potenciación (efecto no sinérgico); SI = 2 cuando se identificó un sinergismo moderado por concurrencia de presiones con incremento apreciable del efecto; y SI = 4 cuando el sinergismo fue alto, es decir, cuando la interacción entre presiones potenció de manera ostensible la manifestación del impacto o elevó el riesgo de pérdida de funcionalidad del receptor.

C. Impactos residuales

Los impactos residuales se evaluaron mediante una revaloración posterior a la definición e incorporación de las medidas de manejo (prevención, mitigación, corrección, restauración y/o compensación) asociadas a cada impacto significativo. Para ello, a partir de la valoración inicial obtenida con la metodología de Conesa, se identificaron los atributos susceptibles de modificarse por la implementación de dichas medidas, y se recalificaron de forma justificada manteniendo la misma escala metodológica. Con los valores ajustados se calculó la

importancia residual utilizando la misma función de Conesa, y se consideraron residuales significativos aquellos impactos que, aun después de aplicadas las medidas, conservaron una clasificación severa o crítica.

2.3.10 Metodología Evaluación económica ambiental

“Con el propósito de mejorar el proceso de licenciamiento ambiental y dar cumplimiento al numeral 7 del artículo 1 y al numeral 8 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993, dirigidos a incorporar los costos ambientales de los proyectos de desarrollo, incluso después de la aplicación de las medidas de manejo para la prevención, corrección y restauración de los impactos generados sobre los recursos naturales renovables y el ambiente por dichos proyectos, se expide el Decreto 2041 del 2014 (compilado en el Decreto 1076 de 2015), que en el numeral 6 de su artículo 21, exige la presentación de la “Evaluación económica de los impactos positivos y negativos del proyecto” en los Estudios de Impacto Ambiental.” (ANLA_MADS, 2017, p. 12)

En este orden de ideas, la autoridad ambiental “ponen a disposición de quienes deben elaborar estudios ambientales (Diagnóstico Ambiental de Alternativas y Estudio de Impacto Ambiental), cuatro Instructivos que recogen los criterios para desarrollar el componente de evaluación económica, facilitando la comprensión de los conceptos, técnicas y metodologías internacionalmente empleadas, ofreciendo información detallada sobre las ventajas y limitaciones de su aplicación en Colombia”. (ANLA_MADS, 2017, p. 12). El instructivo A presenta las metodologías para realizar el Análisis Costo Beneficio ACB; el instructivo B desarrolla la metodología para la internalización de impactos; el instructivo C presenta las metodologías para la valoración de los impactos no internalizables y el instructivo D presenta las metodologías de transferencia de beneficios.

Para la **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, de acuerdo con el documento *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*, se requieren dos tipos de análisis para la toma de decisiones: (1) Análisis de la eficiencia de acción de las medidas del PMA que garantizan la internalización de impactos prevenibles y corregibles; y (2) Valoración económica de los impactos ambientales que resulten no internalizables dentro del proyecto. Para el primero, la herramienta económica aplicable es el análisis de internalización y para el segundo, el Análisis Costo Beneficio ACB.

Análisis de internalización: de acuerdo con el documento *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*, “es indispensable realizar un análisis de internalización, que identifique los impactos que pueden ser prevenidos o corregidos mediante medidas de manejo, permita establecer una relación de los costos asociados a dichas actividades y genere indicadores que faciliten el seguimiento a las mismas.

Análisis Costo Beneficio ACB: en el EIA se debe presentar la valoración económica de los impactos que no resultan prevenibles ni corregibles (no internalizables), estimación que constituye el principal insumo para la aplicación del Análisis Costo Beneficio - ACB como criterio de decisión. (ANLA_MADS, 2017, p. 22). El análisis costo beneficio –ACB- en el marco del EIA constituye una herramienta útil, ya que permite comparar los costos y los beneficios que genera el desarrollo de un proyecto, con el fin de aportar en la toma de decisiones sobre la viabilidad ambiental y social del proyecto.

Este análisis se fundamenta en los lineamientos establecidos por el Decreto 1076 de 2015. Para su elaboración se considera la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales ANLA 2018, el documento *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento*

ambiental (ANLA_MADS, 2017), y el Manual técnico para la evaluación económica de impactos ambientales en proyectos sujetos a licenciamiento ambiental del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y del Centro de Estudios para el Desarrollo Económico (CEDE) de la Universidad de los Andes (CEDE, 2010).

La valoración económica se desarrolla a partir de la identificación de los impactos significativos, la cuantificación biofísica de los cambios en los bienes y servicios ecosistémicos BSE, el análisis de internalización, la valoración de impactos relevantes, y finalmente, la obtención de los indicadores de viabilidad. Previo a presentar los pasos para la aplicación de la metodología de valoración, es fundamental establecer las principales limitaciones del mecanismo de valoración:

- "El Valor Económico Ambiental que se obtiene a partir de la aplicación de las metodologías depende de las preferencias y las percepciones de las personas, lo cual puede variar entre individuos, sociedades y a lo largo del tiempo (Costanza, *et al.,* 2014)". (MADS, s.f., p. 18)
- "Las diferentes dimensiones del valor no necesariamente se reflejan en las disposiciones a pagar o a aceptar de las personas, porque la maximización del bienestar individual depende de que todos los individuos cuenten con información completa sobre el presente y el futuro. La incertidumbre siempre estará presente en la aplicación de la herramienta." (MADS, s.f., p. 18)
- "Al usar el dinero como unidad de medida del bienestar, se está suponiendo que una unidad monetaria adicional en el ingreso aporta la misma utilidad a todas las personas (utilidad marginal constante)". (MADS, s.f., p. 18)
- "Los valores obtenidos a partir de los diferentes métodos pueden ser interpretados de diversas formas, dependiendo del enfoque teórico desde el cual se trabaje (como Excedentes del Productor o del Consumidor, como Disponibilidades a Pagar o a Aceptar, como Variaciones Compensatorias o Equivalentes, etc.)". (MADS, s.f., p. 18)
- "La Valoración Económica Ambiental supone que todas las dimensiones del bienestar humano son conmensurables a partir de una única unidad de medición. Esto desconoce que, aunque todas las necesidades se relacionen con el bienestar humano, puede establecerse un ordenamiento jerárquico para las mismas". (MADS, s.f., p. 18)

Aclaradas las limitaciones, en la Figura 2.79 se presenta una estructura secuencial, que reúne los elementos e insumos que permiten obtener resultados confiables durante la etapa del Proyecto.

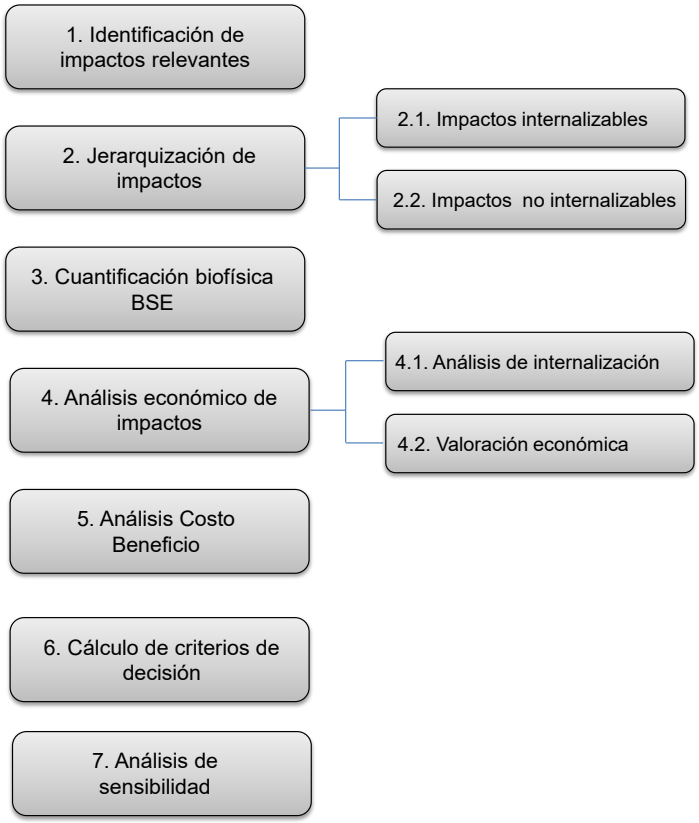


Figura 2.79 Estructura general del proceso de evaluación económica ambiental en la etapa de Evaluación

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2017

A continuación, se presenta la metodología para cada uno de los pasos que establece la estructura general, de acuerdo con lo dispuesto por la (ANLA A. N., 2017).

2.3.10.1 Identificación de impactos relevantes

En este punto se identificaron los impactos que tienen mayor probabilidad de alterar la provisión de servicios ecosistémicos en el área de interés, e influir en la utilidad o bienestar de los grupos poblacionales; teniendo en cuenta que debe maximizarse el bienestar social, se identifican los impactos más relevantes.

Se consideraron significativos los impactos que resulten clasificados en los tres niveles que revistan mayor gravedad (para los impactos de carácter negativo) o mayor beneficio (en el caso de los impactos positivos) respecto a las condiciones iniciales o línea base. No obstante, tal y como lo indica la (ANLA A. N., 2017), en el documento *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*, técnicamente, no se considera la valoración económica de todos los impactos ambientales identificados, por tanto se valoran aquellos de mayor impacto, los cuales generan mayores pérdidas o ganancias desde el punto de la sociedad; bajo el supuesto que los demás impactos pueden controlarse y generan beneficios/costos residuales. A partir de la Evaluación Ambiental se consideran para iniciar la Valoración Económica tanto los impactos negativos y positivos moderados, críticos y severos.

2.3.10.2 Jerarquización de impactos internalizables – no internalizables

Los impactos internalizables son aquellos que pueden ser controlados en su totalidad por las medidas de prevención o corrección contempladas dentro del Plan de Manejo Ambiental - PMA del EIA. Por lo tanto, dentro del PMA se presenta una propuesta efectiva de prevención o corrección de impactos ambientales sustentada en indicadores relacionados con cada medio (abiótico, biótico o socioeconómico), el valor de estas inversiones representa el costo de oportunidad de evitar el deterioro de la calidad ambiental. Por su parte, los impactos no internalizables son todos aquellos que no pueden controlarse mediante medidas de manejo de prevención o corrección.

De acuerdo con los resultados de la evaluación ambiental, son internalizables los impactos cuya medida de manejo está relacionada con acciones de prevención, mitigación y corrección; mientras que los impactos no internalizables son aquellos cuya única medida de manejo es la compensación. Esta clasificación se constituye en el criterio para la jerarquización de impactos internalizables y no internalizables. Primero se seleccionan en internalizables o no; luego en significativos o no, y ello dependerá si la cuantificación del impacto corresponde a irrelevante, moderado, crítico o severo. Serán relevantes, tal como se mencionó anteriormente, los impactos calificados como críticos o severos.

2.3.10.3 Cuantificación biofísica de los cambios en los bienes y servicios ecosistémicos

Se realizó una medición del delta ambiental que causa el impacto sobre un factor o servicio ambiental determinado. Para este análisis era necesario considerar un indicador que diera la oportunidad de comparar, medir o identificar el porcentaje de cambio sobre el servicio ecosistémico que se estaba evaluando. En este sentido, la cuantificación se enfoca en la evaluación de los efectos más probables sobre la prestación de los SSEE y su incidencia en los componentes del bienestar.

Ahora bien, vale la pena resaltar que los servicios ecosistémicos – SSEE- hacen referencia a los componentes de la naturaleza que permiten mantener el equilibrio global, responsable de las condiciones que hacen posible la vida en el planeta y, además, satisfacer diferentes necesidades de alimentación, abrigo, resguardo, recreación y esparcimiento, tal y como lo define la Organización de Naciones Unidas en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005). En concordancia con lo expuesto en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y Sus Servicios Ecosistémicos -PNGIBSE, se agrupan los SSEE en tres categorías, retomando las definiciones que realiza MEA, a saber:

- Aprovisionamiento: son recursos tangibles y finitos que se contabilizan y consumen, los cuales en su mayoría presentan un mercado estructurado. Pueden ser o no renovables. Entre ellos se encuentra la provisión de alimentos, productos forestales maderables, recursos genéticos, plantas medicinales y agua.
- Regulación y soporte: como tal, los servicios de regulación son aquellos que mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas, a través de las cuales se regulan las condiciones del ambiente. Por su parte, los de soporte son servicios y procesos ecológicos necesarios para la regulación, el aprovisionamiento y existencia de los demás servicios ecosistémicos. Se evidencian a escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás. Dentro de esta categoría se encuentran, entre otros, los servicios de reciclado de nutrientes, control de la erosión, almacenamiento y captura de carbono, regulación hídrica, hábitat para la biodiversidad, regulación del clima, mantenimiento de la calidad del agua.

- Culturales: son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.

Adicionalmente, se analizan las incertidumbres existentes sobre los efectos externos del proyecto, o la presencia de valores superiores o inconmensurables, que no pueden ni deben ser valorados en unidades monetarias, pero que no deben ignorarse en el análisis integral para la selección.

2.3.10.4 Análisis económico de impactos

2.3.10.4.1 Definición de impactos Internalizables

Para los impactos ambientales previstos por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad, que puedan ser controlados en su totalidad por el correcto desarrollo de las medidas de prevención, mitigación o corrección establecidas en el PMA, se determina el monto de éstos que puede reflejar el valor económico de los impactos internalizables, siempre y cuando se cumpla con al menos tres criterios neurálgicos para este análisis, retomados de Dixon y Pagiola (1998) y la OECD (2002):

- La predictibilidad temporal y espacial del cambio biofísico.
- La alta certeza y exactitud en las medidas de prevención o corrección de dichos impactos.
- Los programas o medidas contemplados para realizar la corrección tienen una efectividad cercana al 100%.

En concreto, los métodos de valoración que se consideran apropiados para indicar que un impacto es internalizado son: costos preventivos y costos de corrección, los cuales se describen como:

- Costos preventivos: usa los costos estimados de las medidas de prevención como un aproximado del valor económico del impacto ambiental que se busca prevenir o evitar.
- Costos de corrección: busca establecer el valor económico del impacto ambiental a partir de los costos relacionados con las medidas de corrección, las cuales tienen como objetivo controlar las afectaciones negativas generadas por un proyecto, obra o actividad en el bien o servicio ambiental.

En general, para la aplicación de los métodos basados en costos se requiere como paso inicial la descripción del impacto ambiental a ser valorado, indicando y delimitando el bien o servicio ecosistémico afectado. En un segundo momento se deben indicar las medidas con las cuales se va a internalizar el impacto, asegurando que los supuestos y condiciones que exige cada uno de ellos, se cumplan. Finalmente, se deben presentar los costos considerados, indicando de forma detallada los rubros y costos estimados más representativos de la medida utilizada para la valoración económica del impacto.

2.3.10.4.2 Análisis de internalización

El análisis de internalización solicitado desde la autoridad ambiental contempla el siguiente desarrollo procedimental:

- **Descripción del impacto negativo e identificación de los servicios ecosistémicos comprometidos**: se debe determinar el impacto a considerar en el análisis de internalización y seguidamente, la afectación a los servicios ecosistémicos previstos en el área de influencia, como consecuencia de la ocurrencia del impacto analizado.
- **Definición del indicador**: se debe especificar el indicador que mejor se ajuste al cambio previsible que se ocasionaría en el área de influencia, una vez el proyecto, entre en

ejecución. Un indicador corresponde a una expresión cuantitativa o cualitativa, que describe características a través del comportamiento de una variable o una relación de variables que, comparada frente a una meta establecida, evalúa su desempeño en el tiempo (DANE, 2013).

- **Cuantificación del cambio del servicio ecosistémico**: Este paso hace referencia a la estimación, en unidades físicas, del cambio temporal y espacial del impacto analizado.
- **Medida de manejo seleccionada e indicadores asociados**: se debe precisar el programa, obra o actividad del PMA que mejor se ajusta para garantizar la prevención o corrección del impacto. Se deberá allegar información claramente sustentada en criterios técnicos, de forma que sea posible su análisis durante la evaluación del EIA y en etapas posteriores. Así mismo, se debe explicitar el método de valoración seleccionado, asegurando que los supuestos y condiciones que exijan cada uno de ellos, se cumplan.
- **Resultado esperado de la medida (indicador)**: se debe incluir el valor numérico de las medidas de prevención o corrección contempladas en el PMA. Se enfatiza que, ante la eventualidad de que la prevención o corrección de un impacto no alcance la efectividad del 100%, se deben argumentar los motivos, excluir el impacto del análisis de internalización, e incluirlo dentro de la sección de impactos valorables.
- **Estimación de los costos ambientales anuales**: se deben presentar los costos considerados, con temporalidad anual y con un horizonte de tiempo coherente con la presencia del impacto, durante el desarrollo del proyecto y aún más allá de la vida útil de éste, en los casos en que así ocurra, indicando de forma detallada los rubros estimados más representativos de la medida utilizada para la aproximación a la cuantificación económica del impacto. Este valor debe corresponde al presentado en el presupuesto del Plan de Manejo correspondiente.

El análisis de internalización se realizó siguiendo las pautas del formato de la Tabla 2.180 que compila los criterios que se deben consignar para efectos de resumir la información que se presenta en el EIA:

Tabla 2.180 Análisis de internalización de impactos en la evaluación ex ante

Impacto negativo	**Servicio ecosistémico o ambiental**	**Indicador línea base - EIA**		**Cuantificación (Cambio del servicio ecosistémico o ambiental)**	**Medida de PMA**		**Costos ambientales anuales - ECi***		
		Nombre	Valor		Nombre	Valor indicador	CTi	COi	CPi

Fuente: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2017

Los costos ambientales anuales (Eci) corresponden a la sumatoria de los costos ambiental anuales causados por la implementación de la medida de manejo que internaliza el impacto.

Donde:

ECi: Costos ambientales totales en el año i

CTi: Costos de transacción en el año i

COi: Costos operativos en el año i

CPi: Costos de personal en el año i

Cada uno de los componentes anteriores se define y construye de la siguiente manera:

- Costos de transacción: incluyen el valor de los impuestos, tasas, tarifas y precios de mercado, que se pagan por el uso del bien o servicio ambiental.
- Costos operativos: corresponden a la inversión que se debe realizar para mantener la calidad ambiental; incluyen todos los pagos por control de la contaminación, entre los que se cuentan la adquisición, funcionamiento y mantenimiento de equipo de tratamiento y monitoreo, los gastos en manejo ambiental, y los gastos en restauración, siembras y cerramientos, entre otros. Esta información puede corresponder a los costos de las actividades contempladas en las medidas de manejo ambiental para prevención y corrección.
- Costos de personal: corresponden a los costos del personal requerido para la implementación de cada medida de prevención o corrección establecida en el PMA.

2.3.10.4.3 Elección y aplicación del método de valoración económica – impactos no internalizables

El proceso de valoración económica de impactos se aborda bajo la definición de valor económico total (VET), el cual se define como la suma de los diferentes valores que conforman un sistema ambiente – recursos. Estos valores hacen alusión al uso y al no uso del bien ambiental o servicio ecosistémico impactado, en la medida en que cualquier tipo de recurso, bien o servicio se caracteriza por tener otros valores diferentes al valor que se le otorga por los beneficios derivados de su uso, los cuales deberán calcularse para no subestimar los verdaderos beneficios y/o costos ambientales (Riera, García, Kriström, & Brännlund, 2005).

En tal sentido, el valor de uso corresponde a los beneficios que las personas obtienen del bien o servicio que sufre impacto sobre su calidad o cantidad. Este valor de uso se divide en:

- Valor de uso directo, relacionado con los productos de consumo o servicios directos que provee el bien.
- Valor de uso indirecto, relacionado con los beneficios funcionales del bien.
- Valor de opción, el cual hace referencia al uso directo o indirecto futuro.
- Por su parte, el valor de no uso parte del hecho de que las personas pueden asignar valores monetarios a los recursos naturales independientemente de que estén haciendo uso de ellos en el presente, estos se clasifican en:
- Valor de herencia, relacionado con la importancia de la preservación del bien para las futuras generaciones,
- Valor de existencia, conocido como valor ético (Azqueta *et al*., 2007).

La Figura 2.80 muestra el esquema de los componentes del valor económico total.

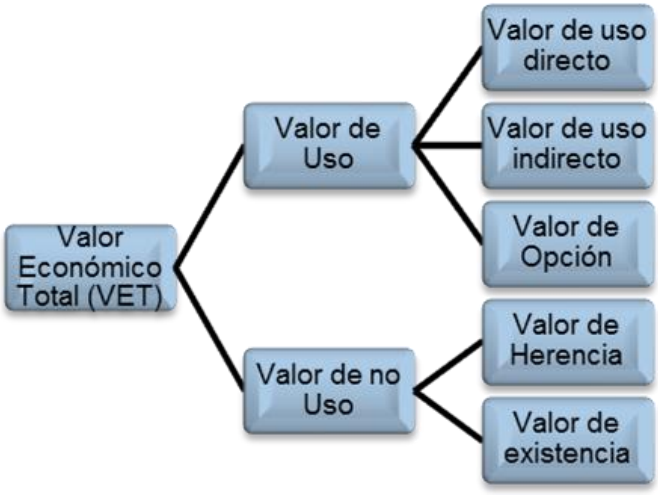


Figura 2.80 Esquema del Valor Económico Total (VET)

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Universidad de los Andes (2010)

Con miras a determinar el VET, la economía ambiental ha propuesto diversas metodologías que permiten aproximar el valor de un impacto a un precio de mercado. La Figura 2.81 presenta los diferentes enfoques de valoración económica. La selección y aplicación de cada uno de ellos depende del grado de complejidad del bien, recurso o servicio ecosistémico que resulte impactado, así como de los recursos en términos financieros, de tiempo e información con los cuales se cuente.

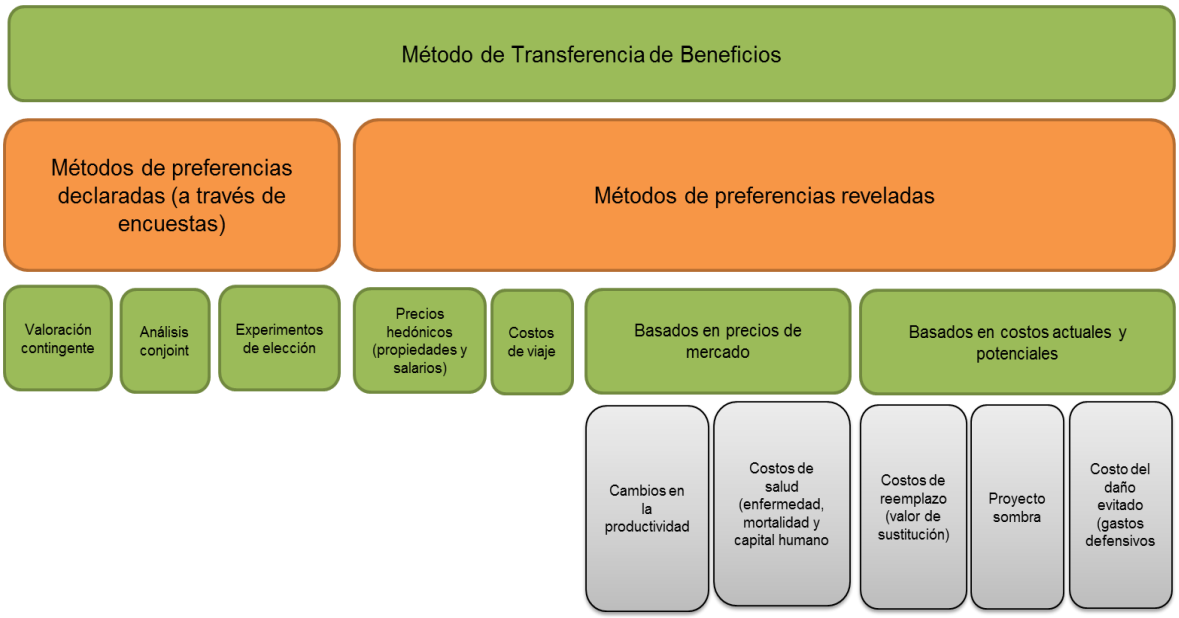


Figura 2.81 Clasificación de las metodologías de valoración

Fuente: Grupo de Valoración Económica Ambiental de la ANLA, a partir de MAVDT & CEDE (2010)

Las metodologías seleccionadas corresponden, en su totalidad, a métodos de preferencias reveladas; y de ellas las relacionadas con los métodos basados en precios de mercado o basados en costos actuales y potenciales; adicional los denominados métodos de transferencia de beneficio. La descripción de cada una se realiza a continuación a partir de lo consignado en el documento *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*, (ANLA A. N., 2017)

mientras que el detalle y el desarrollo de cada metodología se encuentra en el capítulo de evaluación ambiental, con sus respectivos resultados.

- **Precios de mercado**: Las metodologías de precios de mercado estiman los valores económicos de los productos y/o servicios de los ecosistemas, que son comprados y vendidos en los mercados comerciales, y es utilizado para cuantificar los cambios de valor en la cantidad o calidad de un bien o servicio.
- **Costos actuales y potenciales**: Las metodologías basadas en costos (p. e. preventivos, de reposición, de reemplazo), relacionan la estimación de los valores de los costos incurridos para remediar la afectación. Estos métodos no proporcionan medidas de los valores económicos que se basan en la voluntad de los individuos a pagar por un producto o servicio. En su lugar, asumen que los costos de evitar daños o la sustitución de ecosistemas o sus servicios proporcionan estimaciones útiles del valor de estos ecosistemas o servicios. Esto se basa en el supuesto de que, si las personas incurren en gastos para evitar los daños a los servicios de los ecosistemas, o para sustituir a los servicios de los ecosistemas, dichos servicios deben valer al menos lo que la gente paga para reemplazarlos.
- **Transferencia de beneficios**: La transferencia de beneficios no es una metodología en sí misma, pero permite hacer uso de estimaciones obtenidas (por cualquier método) en un contexto determinado para estimar valores en otro contexto. Así, la transferencia de beneficios se utiliza para calcular los valores económicos de los servicios de los ecosistemas mediante la transferencia de la información disponible de estudios ya realizados en otro sitio o lugar que presenta ecosistemas equivalentes.

Para la **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, se adoptarán las metodologías que se encuentran aprobadas por la autoridad ambiental en el ejercicio global del Proyecto Gramalote. Definida la metodología para evaluar la afectación de cada uno de los componentes del ambiente y aplicado el algoritmo que permitió hacer el cálculo se procede con el análisis de los resultados.

2.3.10.5 Análisis costo beneficio

Una vez valoradas las afectaciones sobre los flujos de bienes y servicios ambientales impactados (de mayor relevancia) dichas estimaciones fueron incluidas en un flujo de costos y beneficios con una distribución acorde con la duración de cada efecto y el horizonte del proyecto (mensual o anual). Para ello se consideran como beneficios la riqueza en el ámbito social, ambiental o económico que obtiene la población objetivo en el momento en que se decida ejecutar el proyecto, por su parte, los costos corresponden al valor de los impactos negativos generados por el mismo (Figura 2.82).



Figura 2.82 Estructura de costos y beneficios

Fuente: Adaptado del Manual técnico para el uso de herramientas económicas en las diferentes etapas del licenciamiento ambiental (ANLA, 2015)

2.3.10.6 Cálculo de criterios de decisión

Una vez se tiene el flujo de costos y beneficios consolidado, este se descuenta utilizando la tasa social de descuento, para obtener el Valor Presente Neto - VPN de los beneficios/costos. La TSD, conocida también como tasa de descuento económica, es el factor que permite comparar los beneficios y los costos económicos del proyecto en diferentes momentos del tiempo y con relación al mejor uso alternativo de esos recursos, esta será del 2%, a partir de lo contemplado en el documento "Tasa de descuento: aspectos relevantes para el licenciamiento ambiental en Colombia" (ANLA A. N., 2022), en consideración con el plazo del Proyecto.

Una vez obtenido el VPN, se aplican los criterios de decisión del proyecto los cuales corresponden al test del VPN y la Relación Beneficio Costo (RBC). El test del VPN analiza el valor presente del proyecto teniendo en cuenta que el criterio de aceptación, rechazo o indiferencia en la viabilidad de un proyecto, consiste en un VPN mayor a cero, menor a cero, e igual a cero, respectivamente (Tabla 2.181).

Tabla 2.181 Interpretación indicador VPN

Valor Presente Neto (VPN)	Interpretación
VPN > 0	Los beneficios del proyecto son mayores que sus costos, por lo tanto, se acepta el proyecto y se dice que este genera ganancias en bienestar social.
VPN= 0	El proyecto no produce beneficios ni costos. Por lo tanto, no genera cambios sustanciales en el bienestar social.
VPN< 0	Los costos del proyecto son mayores a sus beneficios. Por tanto, se debe rechazar el proyecto, ya que provoca pérdidas en bienestar social.

Fuente: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) – Universidad de los Andes, 2010

Por su parte la Relación Beneficio Costo (RBC), se define como el cociente entre el VPN de los beneficios versus el VPN de los costos. Los resultados de este indicador muestran la relación de un proyecto, en términos del bienestar social que genera. En la Tabla 2.182 se presenta la interpretación de los resultados de la RBC.

Tabla 2.182 Interpretación del indicador RBC

RBC	INTERPRETACIÓN
RBC > 1	El proyecto genera bienestar social, por lo tanto, se acepta el proyecto.
RBC = 1	El proyecto no presenta cambios en bienestar social, por lo tanto, es indiferente.
RBC < 1	El proyecto empeora el bienestar social. Por lo tanto, no es recomendable su ejecución.

Fuente: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) – Universidad de los Andes, 2010

2.3.10.7 Análisis de sensibilidad

Este análisis permite verificar la robustez de los resultados e investigar el impacto de los parámetros con mayores incertidumbres; para ello se debe calcular el VPN y la RBC, comparando cada vez los resultados entre alternativas, con diferentes valores de variables críticas en escenarios posibles, para conocer cual parámetro produce una mayor sensibilidad sobre el VPN y por ende afecta más los criterios de aceptación o rechazo (CEDE, 2010).

2.3.11 Metodología Zonificación de manejo ambiental

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018 la zonificación de manejo ambiental "tiene como propósito establecer, para el área de influencia, zonas homogéneas de acuerdo al grado con el cual pueden ser intervenidas por el proyecto y se obtiene, a partir de la integración de la información proveniente de la zonificación ambiental, de las características del proyecto, del uso y aprovechamiento de recursos y de la evaluación ambiental." (ANLA_MADS, 2018, p. 196). La misma establece que:

Se deben agrupar estas unidades en las siguientes áreas de manejo, indicando la superficie de cada unidad, su porcentaje de participación con respecto al área total del proyecto y las actividades a desarrollar, de acuerdo con las restricciones de cada una de ellas:

- Áreas de intervención: corresponde a áreas donde se puede desarrollar el proyecto, con un manejo ambiental acorde a las actividades y fases de este.
- Áreas de intervención con restricciones: corresponde a áreas en las que se debe efectuar un manejo especial, así como tener en cuenta las estricciones que resultan de las características de las actividades y fases del proyecto y de la vulnerabilidad ambiental de la zona. Se deben establecer grados de restricción y condiciones para la ejecución de las obras y actividades. Se deben definir áreas de intervención con restricción alta, media y baja.
- Áreas de exclusión: corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Se deben considerar como criterios de exclusión, la vulnerabilidad y funcionalidad ambiental de la zona, así como las áreas con restricciones legales y/o con régimen especial. (ANLA_MADS, 2018, p. 196).

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó la propuesta de manejo que se detalla en la Tabla 2.183.

Tabla 2.183 Criterios considerados para la zonificación de manejo ambiental

Zonificación ambiental	Zonificación de manejo
Zonas de sensibilidad muy alta (presentan un régimen especial declarado)	Áreas de Exclusión
Zonas de sensibilidad muy alta (no presentan un régimen especial declarado)	Área de Intervención con Restricción Alta
Zonas de sensibilidad alta	
Zonas de sensibilidad media	Área de Intervención con Restricción Media
Zonas de sensibilidad baja	Área de Intervención con Restricción Baja
Zonas de sensibilidad muy baja	Área de Intervención

Fuente: Integral S.A., 2026

Los niveles de restricción se determinaron según el nivel de complejidad y los impactos, que necesariamente se tendrán que considerar en el diseño de las obras, las actividades o las medidas de manejo, y los requerimientos de trámites adicionales a la licencia ambiental. De manera concreta los niveles se definieron de la siguiente manera:

- Intervención: corresponde a áreas donde se puede desarrollar el proyecto, con un manejo ambiental acorde a las actividades y fases de este
- Alta: Obras y actividades se pueden desarrollar con la implementación de manejos de alto nivel de complejidad, que tienen impacto económico alto y requieren la obtención de permisos, concesiones o autorizaciones para el uso de los recursos naturales renovables y el trámite de levantamiento de restricciones ambientales u otros. El área corresponde a la de alta sensibilidad en la zonificación ambiental.
- Media: Obras y actividades se pueden desarrollar con la implementación de manejos de nivel de complejidad media, que tienen impacto económico medio o moderado y requieren la obtención de permisos, concesiones o autorizaciones para el uso de los recursos naturales renovables. Corresponden a las zonas definidas como de sensibilidad media en la zonificación ambiental.
- Baja: Obras y actividades se pueden desarrollar con la implementación de manejos convencionales, que tienen bajo impacto económico y no requieren la obtención de licencias, permisos, concesiones o autorizaciones para el uso de los recursos naturales renovables. Corresponden a las zonas de baja sensibilidad en la zonificación ambiental siempre y cuando no requieran trámites ambientales.
- Áreas de exclusión: corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Para definir estas áreas se deben considerar criterios de exclusión tales como vulnerabilidad y funcionalidad ambiental y restricciones impuestas legalmente al uso del territorio.

2.3.12 Metodología Planes y programas

De acuerdo con el artículo 2.2.2.3.1.1. Definiciones, del capítulo 3. Licencias Ambientales, Sección 1. Disposiciones Generales, del Decreto 1076 de 2015, el "*Plan de manejo ambiental: Es el conjunto detallado de medidas y actividades que, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad*", por lo tanto, el capítulo en cuestión recopila, de acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera 2016 los planes de manejo según estrategia, el programa de monitoreo y seguimiento, el plan de gestión del riesgo, el plan de

cierre, el plan de compensación por pérdida de biodiversidad y el plan de inversión de no menos del 1% por uso del agua, entre otros.

Teniendo en cuenta que: (1) el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote cuenta con licencia ambiental y por tanto con un Plan de Manejo Ambiental, (2) el Plan de Trabajo y Obras está siendo modificado y que (3) las dinámicas del territorio han evolucionado de 2015, año de obtención de licencia ambiental a la fecha (2025); se hace una revisión integral del plan de manejo y todos sus componentes.

2.3.12.1 Programas de Manejo Ambiental

Los programas de manejo ambiental, en términos de estrategia, pueden ser de prevención, mitigación, corrección o compensación. el artículo 2.2.2.3.1.1. Definiciones, del capítulo 3. Licencias Ambientales, Sección 1. Disposiciones Generales, del Decreto 1076 de 2015, los define así:

- ***Medidas de prevención***: Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente
- ***Medidas de mitigación***: Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente.
- ***Medidas de corrección***: Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio ambiente afectado por el proyecto, obra o actividad.
- ***Medidas de compensación***: Son las acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos o mitigados.

Adicionalmente, integrando lo que solicitan los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Explotación Minera 2016, y la metodología propuesta en Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, los planes de manejo incluyen: objetivos, metas, impactos por cada programa, tipo de medida, fases, lugar(es) de aplicación, acciones específicas, relación de las obras propuestas a implementar, cronograma, costos estimados, análisis de ciclo de vida, indicadores (eficiencia, eficacia y efectividad) y perfil del grupo de trabajo. Adicionalmente se tendrá en cuenta la denominación original del Plan de Manejo y una nueva denominación del mismo, denominada ajustado, en caso de que sea necesario.

Adicionalmente se incluirá la relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS asociados. La Tabla 2.184 es el modelo de ficha propuesto.

Tabla 2.184 Formato ficha para elaboración de planes de manejo

CÓDIGO: PMA_XXX_XX Sub_X	**PROGRAMA DE MANEJO XXX** **Subprograma manejo XXX**
Objetivos Específicos	
Impactos atendidos	
ACCIONES A DESARROLLAR:	
Medida de manejo 1: **Tipo de medida 1:** **Impactos atendidos 1:**	
Cuantificación de la medida	

CÓDIGO: PMA_XXX_XX Sub_X	**PROGRAMA DE MANEJO XXX** **Subprograma manejo XXX**
Metas	
Indicadores de seguimiento (cualificables y cuantificables)	
Lugar de aplicación	
Población beneficiada	
Mecanismos y estrategias participativas	
Personal requerido	
Responsable de la ejecución Gramalote Colombia Limited.	
Cronograma	
Presupuesto	
Documentos relacionados	
Programas de manejo asociados	

Fuente: Integral S.A., 2025

Para esta modificación de la licencia, se realizarán ajustes a los planes de manejo vigentes, con el fin de alinearlos con las nuevas actividades y obras previstas para el proyecto. En la Tabla 2.185 se relacionan los planes de manejo que serán objeto de actualización.

Tabla 2.185 Planes de manejo ambiental objeto de actualización en la presente modificación de licencia

Código	Nombre plan de manejo
Medio Abiótico	
PMA_ABIO_01	Programa de manejo del suelo
PMA_ABIO_02	Programa de manejo de estériles y escombros
PMA_ABIO_03	Programa de manejo del recurso hídrico y obras para control de erosión
PMA_ABIO_04	Programa de manejo del recurso aire
PMA_ABIO_05	Programa de manejo de residuos sólidos
PMA_ABIO_06	Programa de manejo de combustibles y sustancias químicas
PMA_ABIO_07	Programa de manejo de explosivos y voladuras
PMA_ABIO_08	Programa de manejo de señalización
PMA_ABIO_09	Programa de manejo del paisaje
PMA_ABIO_10	Programa de manejo del cianuro
Medio biótico	
PMA_BIO_01	Programa y protocolos para el manejo y salvamento de especies de fauna
PMA_BIO_02	Programa de remoción de la cobertura vegetal
PMA_BIO_03	Programa de ahuyentamiento y rescate de peces

Código	Nombre plan de manejo
PMA_BIO_04	Programa de restauración, rehabilitación y recuperación de áreas intervenidas
PMA_BIO_05	Programa de protección y conservación de especies vegetales y faunísticas con grado de amenaza, endémicas o vedadas
PMA_BIO_06	Programa de conservación de ecosistemas naturales y de la oferta de servicios ecosistémicos
PMA_BIO_07	Programa de manejo de especies de flora en veda nacional y regional
Medio socioeconómico	
PMA_SOC_01	Programa de atención, información y participación comunitaria
PMA_SOC_03	Programa de contratación de bienes y servicios
PMA_SOC_04	Programa de capacitación y educación a la comunidad
PMA_SOC_05	Programa capacitación y educación a los trabajadores
PMA_SOC_06	Programa de reasentamiento
PMA_SOC_07	Programa de apoyo a la gestión institucional pública y privada
PMA_SOC_09	Programa de manejo de la presión migratoria
PMA_SOC_10	Programa de afectación a terceros
PMA_SOC_11	Programa para el fomento del patrimonio cultural
PMA_SOC_12	Programa para prevención y promoción en salud
PMA_SOC_13	Programa de manejo de unidades sociales que no requieren ser trasladadas

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.12.2 Programas de Seguimiento y Monitoreo

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, "*El seguimiento y monitoreo a los planes y programas tiene como propósito revisar la eficacia y confiabilidad de los mismos*" (ANLA-MADS, p. 202). Para ello los planes deben incluir como mínimo: las acciones, métodos, procedimientos, datos requeridos, indicadores de seguimiento, lugares de aplicación, cronograma, costos estimados y perfil del grupo de trabajo; así como el PMA Ajustado asociado.

Adicional a la evaluación de la eficacia de los planes de manejo, el plan de seguimiento y monitoreo incluye un monitoreo sobre los componentes del ambiente, de tal manera que sea posible establecer la evolución de los impactos por medio (abiótico, biótico, socioeconómico). Para el diseño del plan se seguimiento y monitoreo por componentes del medio, se utiliza como referencia el Manual de Seguimiento Ambiental de proyectos del Ministerio de Ambiente (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en el año 2002, específicamente formato ICA – 4ª. Análisis de las tendencias en la calidad del medio en donde se desarrolla el proyecto.

Tabla 2.186 Formato programas de seguimiento y monitoreo asociados a planes de manejo ambiental

CÓDIGO: PSM_XXX_XX	**PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO XXX**							
Etapa de ejecución	**Reasentamiento**		**Construcción y montaje**		**Operación**		**Abandono y cierre**	
Objetivo General								
Impacto(s) a monitorear								
SUBPROGRAMA X. Subprograma de seguimiento y monitoreo XXX								
Tipo de medida del PMA a monitorear	**Prevenir**		**Mitigar**		**Corregir**		**Compensar**	

CÓDIGO: PSM_XXX_XX	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO XXX
Objetivos específicos	
Programas del PMA a monitorear	
Parámetro(s) a monitorear	
Metodología(s) de muestreo y análisis	
Sitio de medición	
Frecuencia de la medición	
Indicadores a monitorear	
Observaciones	

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 2.187 Formato programas de seguimiento y monitoreo componentes del medio ambiente

PSM original				
PSM Ajustado				
Componente ambiental	Paisaje	Suelo	Vegetación	Fauna
	Aire	Agua Subterránea	Agua Superficial	Socioeconómico/ Cultural
Impacto ambiental significativo				
Monitoreo o inspección ambiental	Parámetros: Unidad de medida: Datos requeridos: Duración del muestreo: Frecuencia de muestreo: Métodos de muestreo:			
Indicadores de calidad ambiental	Norma nacional / internacional Parámetro de control (valor de referencia) Parámetro de control (valor línea base)			
Lugar(es) de aplicación	(ubicación cartográfica).			
Cronograma				
Costos estimados				
Perfil del grupo de trabajo				

Planes de manejo asociados	

Fuente: Integral S.A., 2025

Al igual que los planes de manejo ambiental, en la Tabla 2.188 se presentan los programas de seguimiento y monitoreo que serán objeto de actualización en el marco de la presente modificación.

Tabla 2.188 Programas de seguimiento y monitoreo objeto de actualización en la presente modificación de licencia

Código	Nombre plan de manejo
Medio abiótico	
PSM_ABIO_01	Programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico
PSM_ABIO_02	Programa de seguimiento y monitoreo de las emisiones atmosféricas, calidad del aire y ruido
PSM_ABIO_03	Programa de seguimiento y monitoreo del manejo de suelo
PSM_ABIO_04	Programa de seguimiento y monitoreo de sistemas de manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos
PSM_ABIO_05	Programa de seguimiento y monitoreo del paisaje
Medio biótico	
PSM_BIO_01_V1	Programa seguimiento y monitoreo a la atención, información y participación comunitaria
PSM_BIO_02_V1	Programa de seguimiento y monitoreo a la vegetación
PSM_BIO_03_V1	Programa de seguimiento y monitoreo de las comunidades hidrobiológicas
Medio socioeconómico	
PSM_SOC_01	Programa seguimiento y monitoreo a la atención, información y participación comunitaria
PSM_SOC_03	Programa de seguimiento y monitoreo a la contratación de bienes y servicios
PSM_SOC_04	Programa de seguimiento y monitoreo a la capacitación y educación a las comunidades
PSM_SOC_05	Programa de seguimiento y monitoreo a la capacitación y educación ambiental a los trabajadores
PSM_SOC_06	Programa de seguimiento y monitoreo al reasentamiento
PSM_SOC_07	Programa de seguimiento y monitoreo al apoyo a la gestión institucional pública y privada
PSM_SOC_10	Programa de seguimiento y monitoreo a la afectación a terceros
PSM_SOC_12	Programa de seguimiento y monitoreo a la promoción y prevención en salud
PSM_SOC_13	Programa de seguimiento y monitoreo al manejo de unidades sociales de no traslado

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.12.3 Plan de Gestión del Riesgo

De acuerdo con la Ley 1523 del 24 de abril de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, la **gestión del riesgo** es "*un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible*." (Art 1). Igualmente, tal como lo establece el artículo 2 de la citada ley, es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano dicha gestión.

Para el caso del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, de acuerdo con el artículo 2, Ley 1523/2012 en el marco de sus competencias, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED será el responsable de desarrollar y ejecutar los procesos de gestión del riesgo en el área de influencia del proyecto en mención. Entendido la gestión como el conjunto de acciones que se desarrolla por etapas: un antes, denominado conocimiento del riesgo; un durante, denominado reducción del riesgo y un después, denominado manejo de desastres en el marco del desarrollo del proyecto. En este orden de ideas el Plan de Gestión del Riesgo se diseña para cubrir las tres etapas citadas.

Para la etapa previa, denominada conocimiento del riesgo, se establece una metodología para la determinación del riesgo, entendido como la relación entre la amenaza que se materializa en el área de influencia del proyecto y la vulnerabilidad de los elementos expuestos (naturales y antrópicos); para la etapa denominada durante y que se entiende como aquella que se da cuando mediante intervención se hace posible o se permite o bien eliminar una amenaza, minimizarla o y/o disminuir los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos: finalmente para la etapa denominada después, o de atención del evento contingente, implica la preparación de planes de reacción y retorno a la normalidad. Temas que metodológicamente se desarrollan en detalle a continuación.

Así como el objetivo general que se ha trazado el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo es llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED tendrá el mismo objetivo para el área de influencia del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**. Este proceso social incluye "*planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible*" (art. 4. Definiciones, 11. Gestión del riesgo).

En ese orden de ideas y como parte de la etapa de planeación, parafraseando los objetivos específicos que pretende alcanzar el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, en escala para el **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, son objetivos específicos:

Para la etapa previa: desarrollar, mantener y garantizar el proceso de conocimiento del riesgo mediante: (1) identificación y priorización de escenarios de riesgo; (2) identificación de los factores del riesgo (amenaza, exposición y vulnerabilidad, así como factores subyacentes, sus orígenes, causas y transformación en el tiempo); (3) evaluación del riesgo incluyendo la estimación y dimensionamiento de sus posibles consecuencias, (4) monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y (5) comunicación del riesgo a las entidades públicas y privadas y a la población, con fines de información pública, percepción y toma de conciencia en el área de influencia del proyecto.

Para a la etapa denominada durante, se deberán ejecutar acciones para la reducción del riesgo mediante acciones como: (1) intervención prospectiva mediante acciones de prevención que eviten la generación de nuevas condiciones de riesgo, (2) intervención correctiva mediante acciones de mitigación de las condiciones de riesgo existente, y (3) protección financiera mediante transferencia del riesgo.

Para la etapa de atención a la contingencia, se debe desarrollar, mantener y garantizar el proceso de manejo de desastres mediante acciones como: (1) preparación para la respuesta frente a desastres mediante organización, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento y entrenamiento, entre otros; (2) preparación para la recuperación, llámese: rehabilitación y reconstrucción; (3). respuesta frente a desastres con acciones dirigidas a atender la población

afectada y restituir los servicios esenciales afectados; y (4) recuperación, llámese: rehabilitación y reconstrucción de las condiciones socioeconómicas, ambientales y físicas, bajo criterios de seguridad y desarrollo sostenible, evitando reproducir situaciones de riesgo y generando mejores condiciones de vida.

De acuerdo con la Metodología general para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, para cumplir con lo anterior, se deben identificar: "*i) hechos, acciones y/o actividades generadoras de riesgo, que pueden conducir a la ocurrencia de efectos no previstos dentro del normal funcionamiento y desarrollo del proyecto, ii) medidas dirigidas a la reducción de la exposición a las amenazas y a la disminución de la vulnerabilidad de las personas, el ambiente y la infraestructura, y iii) acciones de manejo de desastres*" (p. 204). Este análisis debe ser cualitativo y cuantitativo, especialmente para proyectos que hagan uso de sustancias peligrosas, explosivas, químicas o hidrocarburos.

Para garantizar el objetivo del Plan de Gestión del Riesgo para el **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**, grosso modo, los pasos para cada etapa son:

2.3.12.3.1 Etapa previa, conocimiento del riesgo

Matemáticamente el riesgo es la interacción entre el o los eventos amenazantes con el o los elementos vulnerables, por lo tanto, para definir el nivel de riesgo, es necesario primero identificar las potenciales amenazas y los elementos vulnerables.

Para identificar las **amenazas**, es importante comprender que una amenaza, de acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental EIA proyectos de explotación minera es un "*peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales*". (MADS_ANLA, 2016, p. 12)

Lo que permite clasificar los eventos amenazantes, como eventos naturales, socio naturales o antrópicos, los primeros sin intervención humana, los segundos, producto consciente o no de la intervención del hombre. Para identificar las amenazas se tienen en cuenta dos tipos de fuentes de información: (1) el listado de los eventos amenazantes que se han materializado en el área de influencia y que tengan registro histórico; y (2) los eventos amenazantes que se relacionan directamente con la actividad que se pretende desarrollar, para el caso, un proyecto de minería de oro a cielo abierto, en Colombia y en el mundo.

La caracterización de cada tipo de amenaza se desarrolló bajo las metodologías específicas brindadas por la literatura como se describe a continuación para algunos de los escenarios de riesgo identificados:

Sismos: se realizó a partir de la información secundaria de la zonificación sísmica nacional elaborada por el Servicio Geológico Colombiano y se complementó mediante el estudio "Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories" (Evaluación de amenaza sísmica probabilística y determinística específica de sitio y aceleración tiempo-historia), con fecha de marzo de 2022, presenta los resultados de los análisis de amenaza sísmica probabilística (PSHA, por sus siglas en inglés) y determinística (DSHA, por sus siglas en inglés).

Movimientos en masa: El análisis de amenaza por movimientos en masa se basa en información geológica, edafológica, geomorfológica, hidrogeológica, hidrológica, climatológica y de amenaza sísmica disponible para el área del proyecto. Con lo cual, se implementa la metodología SES (Sistema Semicuantitativo de Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas) desarrollada por Ramírez & González, (1989). De manera

complementaria, para el análisis de falla de los depósitos R y El Torito se se desarrolló siguiendo los lineamientos de la Guía Metodológica para Estudios de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa en Escala Detallada del (Servicio Geológico Colombiano, 2016) o SGC. Posteriormente, los niveles de amenaza y vulnerabilidad obtenidos mediante la metodología del SGC fueron homologados a la matriz corporativa de evaluación de riesgos utilizada por el Proyecto Gramalote, basada en los lineamientos internos de AngloGold Ashanti descrita antes en el Numeral B Análisis de probabilidad y C Valoración del riesgo.

La metodología comprende cuatro etapas principales: (i) evaluación de la estabilidad geotécnica de los depósitos, (ii) estimación de la amenaza en términos de probabilidad de ocurrencia, (iii) evaluación de la vulnerabilidad por exposición y (iv) determinación del nivel de riesgo.

Inundaciones: esta caracterización fue realizada mediante modelaciones hidráulicas, tomando como base la información topográfica que se encuentra disponible para el proyecto y asumiendo un escenario hidrológico que se asocia al tránsito de crecientes naturales con periodo de retorno de 100 años. De igual forma, se aclara que la categorización de la amenaza se realizó tomando los siguientes umbrales: Bajo, Medio, Alto, Muy Alto y Extremo; los cuales corresponden a los establecidos en las guías del Department of Environmental and Climate Change NWS, FEMA, y el U.S. Bureau of Reclamation

Avenidas torrenciales: Para caracterizar la amenaza por avenidas torrenciales se utilizó la metodología propuesta en el documento “Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimientos en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de San Roque” de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro – Nare (CORNARE, 2012).

De acuerdo con el estudio mencionado, se consideran como variables de análisis los siguientes parámetros: (A) Clasificación morfométrica, (B) Precipitación, (C) Coberturas vegetales, (D) Geomorfología y (E) Material superficial.

Incendios forestales: La determinación de la amenaza por incendios forestales se realizó a partir de una metodología modificada, la cual siguió conceptualmente el Protocolo para la realización de mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal generado por el IDEAM. A partir de lo anterior, la evaluación de la amenaza se realizó a partir de la zonificación y calificación de los siguientes factores propios del área geográfica, los cuales determinan la probabilidad de que sea afectada por un incendio forestal:

Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios: se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación. Esta condición pirogénica se evalúa a través de un modelo de combustibles que posee los siguientes factores.

- Tipo de combustible vegetal predominante para bioma y ecosistema: tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición. Carga de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en Ton/ha y humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos a partir del índice de vegetación NDII. Este último nivel define el modelo de combustible para una determinada unidad de vegetación.

Factores Climáticos: El clima es uno de los factores de fundamental importancia en la generación y la propagación de los incendios forestales ya que determina la duración y la severidad de las estaciones secas y calurosas en un área geográfica determinada, lo cual influye directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible presente, ya que la

humedad hace que la vegetación sea más o menos resistente a la afectación del fuego, lo que conlleva a que exista una mayor disponibilidad de combustible de fácil ignición y con mayor probabilidad de ser afectado por el fuego, razones que posicionan las condiciones climáticas como factor de utilización indispensable para la evaluación de la amenaza.

Factores Relieve: La propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie, la propagación a favor de la pendiente es rápida y peligrosa. Los incendios no ocurren al azar, sino que son más frecuentes en ciertas posiciones topográficas. Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, es pertinente elaborar un mapa de pendientes a partir de la elaboración de un modelo digital del terreno.

Factores históricos: A partir de la información contenida en los partes de incendios acaecidos durante un determinado periodo de tiempo (recomendable de 10 a más años), se realiza el análisis a través del índice de frecuencia de incendios forestales, el cual refleja la frecuencia de eventos, referido al área. Para este análisis se utilizó el histórico de pintos calientes del IDEAM.

Factores de accesibilidad: Expresada como la densidad vial, este factor se considera parte de la amenaza, debido a que es fundamental en la generación de la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas forestales y generar focos de incendio.

Incendios estructurales y explosiones no controladas: Se desarrolló mediante La metodología utilizada para el análisis de riesgos se basa en la metodología propuesta en el HandBook de protección contra incendios (Handbook of fire protection engineering) de la Sociedad de Ingenieros de protección contra incendios (Society of fire protection engineering - SFPE), la cual es presentada en el capítulo 83 correspondiente a “Risk-Informed industrial Fire protection engineering” (Evaluación de riesgos basada conocimiento de la protección contra incendios) y fue ajustada al caso particular de estas instalaciones; lo anterior se debe a que la metodología propuesta está diseñada para evaluar plantas en operación.

Riesgos Natech: La identificación de escenarios NATECH se realizó mediante la revisión e integración de los resultados obtenidos en la caracterización de amenazas naturales y socio-naturales (numeral de Identificación de eventos amenazantes) y de los escenarios de riesgo tecnológico y operacional desarrollados para la infraestructura crítica del proyecto.

Para cada escenario tecnológico previamente evaluado se analizó si la secuencia de falla contemplaba, de manera explícita o implícita, un fenómeno natural como evento iniciador, identificando las cadenas causales en las cuales una amenaza natural puede desencadenar un accidente tecnológico. De igual manera, se revisaron las medidas de prevención, monitoreo y control ya establecidas en el Plan de Gestión del Riesgo, con el fin de verificar su contribución a la reducción de este tipo de escenarios.

Este ejercicio no implicó la formulación de nuevos escenarios de riesgo ni la realización de modelaciones adicionales de consecuencias. Su propósito consistió en consolidar bajo el enfoque NATECH aquellos escenarios previamente desarrollados en el presente Plan, facilitando la comprensión de las interacciones entre amenazas naturales y tecnológicas y la identificación de posibles efectos en cascada.

Cabe destacar que, la caracterización bajo las metodologías utilizadas establece, muy concretamente: la condición final y la probabilidad de ocurrencia.

En términos numéricos la amenaza se expresa como valor absoluto entre 0 y 1, siendo cero la probabilidad nula de que la amenaza se materialice y genere un evento contingente y 1 la certeza de que el evento se materialice y genere un evento contingente.

De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental EIA proyectos de explotación minera **vulnerabilidad** es: la “susceptibilidad o

fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos" (MADS_ANLA, 2016, p. 20)

Para identificar los elementos vulnerables, se parte de la línea base ambiental abiótica, biótica y socioeconómica; y se clasifican de cada uno de los componentes en función del impacto por su deterioro o pérdida. Al igual que los eventos amenazantes, de los elementos vulnerables deben describirse como mínimo: el nivel de vulnerabilidad, que puede medirse con su capacidad de reversibilidad (capacidad para retornar a la condición original de manera natural, sin intervención antrópica) o recuperabilidad (capacidad para retornar a la condición original con intervención antrópica).

Matemáticamente, la vulnerabilidad se expresa como valor absoluto entre 0 y 1, siendo cero la probabilidad nula de que una amenaza afecte el elemento expuesto y genere un evento contingente y 1 la certeza de que un evento al materializarse genere un evento contingente y destruya totalmente el elemento vulnerable.

El **riesgo** será una matriz de doble entrada que establece las interacciones posibles en el territorio y el valor de la interacción probable será el producto de multiplicar el valor de amenaza por el valor de la vulnerabilidad. EL resultado de la matriz de doble entrada será: el valor del riesgo producto del valor de amenaza por el valor de vulnerabilidad, la descripción detallada del evento en caso de materializarse y la modelación del evento mismo. Para aquellos eventos que la literatura lo permite, se presenta gráficamente el proceso de valoración y el resultado final. Es importante aclarar que toda descripción de riesgo que se presenta materializado incluye los criterios utilizados para el análisis.

En relación con el análisis de riesgo Ambiental, Social, Socioeconómico e Individual, se tomaron como insumo las Áreas de Probable Afectación (APA) obtenidas en el análisis de consecuencias presentado en el ANEXOS_PGR_Riesgo_Tecnológico, las cuales fueron definidas a partir de la modelación de los sucesos finales mediante el software ALOHA, considerando los efectos asociados a radiación térmica, sobrepresión y dispersión de sustancias peligrosas, según el tipo de evento analizado.

Posteriormente, las Áreas de Probable Afectación fueron integradas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la cartografía de los elementos expuestos del proyecto, con el fin de identificar las posibles interacciones entre los escenarios modelados y los diferentes receptores presentes en el territorio. Este procedimiento permitió determinar, para cada escenario de riesgo, los elementos potencialmente afectados y valorar las consecuencias esperadas sobre cada componente de análisis

La etapa de conocimiento del riesgo cierra con la determinación de un nivel de riesgo aceptable, entendido el mismo como la materialización de una amenaza que el **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote** está en capacidad de atender de manera autónoma.

2.3.12.3.2 Etapa durante, reducción del riesgo

Una vez se tiene identificado, estudiado y valorado el riesgo y en las fases previas, de inicio de construcción y de arranque, para el caso de los proyectos mineros; la etapa de reducción de riesgo tiene como objetivo minimizar la materialización de eventos contingentes mediante acciones preventivas sobre el diseño de proyecto en etapa de implementación. Dicha minimización puede bien ser de tipo tangible o de tipo intangible. Las acciones tangibles están asociadas a obras de prevención, ajustes a los diseños ingenieriles que minimizan vulnerabilidades o minimizan la probabilidad de materialización de una o varias amenazas.

Las acciones no tangibles son las políticas, estrategias o prácticas diferenciales que tienen el mismo efecto en el área de influencia del proyecto; minimizan vulnerabilidades o minimizan la probabilidad de materialización de una o varias amenazas.

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios de Impacto Ambiental MGEPEA 2018, son de tipo correctivo o prospectiva. Las primeras son producto de la reacción ante una amenaza que se materializa; las segundas, tienen como finalidad evitar, bajo condiciones razonables de tiempo y costo, que los eventos contingentes se materialicen.

Una vez calificados y descritos los riesgos que se han materializado, se analiza, uno a uno, si es posible una intervención, bien sobre el evento amenazante ante el inminente desarrollo de este; o bien sobre el elemento vulnerable, antes de que el evento se materialice. Las acciones se clasifican, se listan y se presentan tipo ficha de plan de manejo. Incluyendo todos los elementos que se piden para presentar una ficha de manejo, haciendo énfasis sobre los indicadores de eficacia.

2.3.12.3.3 Etapa después, manejo de desastre

Tal como lo establece la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios de Impacto Ambiental MGEPEA 2018, para atender un evento de desastre, se diseña un plan de emergencias y contingencias - PEC que incluye esencialmente tres elementos: (1) un plan estratégico, (2) un plan operativo y (3) un plan informativo.

El **plan estratégico**, como su nombre lo indica, incluye la estrategia de atención que incluye el organigrama para la atención de una contingencia, con los roles de las personas designadas durante la atención de la contingencia y hasta la vuelta a la normalidad; incluye las funciones de cada uno de los roles y establece la localización del centro de mando unificado en función del lugar de materialización del evento contingente.

El **plan operativo** incluye los procedimientos básicos de atención o planes de respuesta a contingencia, denominados procedimientos de respuesta a la emergencia. Incluye un plan general de atención a contingencias y planes de atención a contingencias específicas y que el conocimiento del riesgo determinó media y alta probabilidad de ocurrencia o que por sus características requiere una atención especializada, como es el caso de manejo de residuos e insumos peligrosos, químicos o combustibles, por citar algunos.

El plan operativo debe incluir, además del diagrama con los procedimientos, un listado de recursos para atender cada tipo de evento contingente y un listado general que prioriza los elementos necesarios y suficientes que GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED debe tener en stock, almacén, en caso de contingencias que se considera pueden atenderse de manera autónoma. Incluye además el plan de capacitación y entrenamiento para las personas que por su rol pueden tener una designación ante un evento contingente e incluye el diseño, incluido el cronograma para simulacros.

El **plan informático** tiene establecidos los canales de comunicación a todo nivel: (1) procedimiento de comunicación ante un evento contingente; que se resume en el cambio de la cadena de mando ante un evento contingente; y que se activa cuando el responsable de atender la contingencia es informado y activa el plan general de atención y con este el plan de comunicaciones ante el evento, (2) un procedimiento de comunicaciones al interior del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote** para mantener la información suficiente y necesaria para todas las partes interesadas, participen o no en la atención de la contingencia, (3) un procedimiento de comunicaciones al exterior del proyecto que, garantice la comunicación con los grupos de valor de la región con el objetivo de alertar la necesidad o no de intervención de parte de terceros para atender la contingencia y (4) un procedimiento

para comunicar a la comunidad del área de influencia el evento y el desarrollo de la atención del mismo.

El diseño del plan de contingencias debe considerar como información de referencia previo a su diseño los planes de gestión del riesgo del orden nacional, departamental y municipal, previa evaluación de las condiciones de posibilidad de intervención de los mismos en el territorio en el que se asienta el proyecto. En otras palabras, GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED ha validado la capacidad real de respuesta de las autoridades de gestión del riesgo ante un evento contingente en el orden nacional, departamental y local, en el evento que la contingencia se presente en el área de influencia del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**.

2.3.12.4 Plan de desmantelamiento y abandono

El Decreto 1076 de 2015, en el marco de seguimiento a los proyectos, obras o actividades sujetos a licencia ambiental, establece en su artículo 2.2.2.3.9.2 que: "*Cuando un proyecto, obra o actividad requiera o deba iniciar su fase de desmantelamiento y abandono, el titular deberá presentar a la autoridad ambiental competente, por lo menos con tres (3) meses de anticipación, un estudio que contenga como mínimo: a) La identificación de los impactos ambientales presentes al momento del inicio de esta fase; b) El plan de desmantelamiento y abandono; el cual incluirá las medidas de manejo del área, las actividades de restauración final y demás acciones pendientes. e) Los planos y mapas de localización de la infraestructura objeto de desmantelamiento y abandono; d) Las obligaciones derivadas de los actos administrativos identificando las pendientes por cumplir y las cumplidas, adjuntando para el efecto la respectiva sustentación; e) Los costos de las actividades para la implementación de la fase de desmantelamiento y abandono y demás obligaciones pendientes por cumplir*.", No obstante, de acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016), "deben implementarse los instrumentos de planificación de cierre listados a continuación para asegurar la gestión adecuada de los impactos generados a lo largo de un proyecto minero:" (MADS_ANLA; 2016, p. 140); y lista: plan de cierre inicial, plan de cierre progresivo, plan de cierre temporal, actualizaciones el plan de cierre, plan post cierre, áreas contiguas o vecinas, participación ciudadana, consulta de normas locales, actualización final del plan de cierre y actividades de post cierre. Elementos que se desarrollaron como se expresa a continuación:

2.3.12.4.1 Plan de cierre inicial

El plan de cierre inicial establece la estrategia general para el cierre del proyecto. Esta estrategia consulta específicamente tres fuentes de información: (1) el plan de ordenamiento territorial del municipio o documento equivalente, en lo relacionado con la vocación del suelo en el área de influencia del proyecto y su entorno, (2) el mapa de coberturas del área de influencia del proyecto con el año final de explotación y (3) las actas de socialización elaboradas con las comunidades y autoridades del área de influencia en las cuales quedó consignado el interés futuro del uso del suelo de las áreas de minería y áreas auxiliares.

Este plan determina las intervenciones necesarias para incorporar las áreas que se abandonan al paisaje circundante, lo que implica intervenciones para moldear la geomorfología, el paisaje y la dinámica social del territorio. Este ejercicio permite listar una serie de actividades que servirán para programar la implementación del diseño definido para el cierre. El plan establece un diseño general del cierre en planta, las actividades que deberían ejecutarse con las recomendaciones de orden técnico que deben tenerse en cuenta, un cronograma y un análisis de costos. La planta de plan de cierre se presenta a nivel de idea de proyecto, previa a prefactibilidad.

El balance de masas (Routing) de las aguas que entraran al PIT durante el llenado en la etapa de cierre, se realizó utilizando la Ecuación 2.130 y Ecuación 2.131, controlando el volumen del PIT acumulado y la salida de agua por la sección natural de la quebrada Guacas a partir de las ecuacion polinómica de Cota volumen acumulado del PIT y la ecuación Cota Caudal de la sección natural calibrada a partir del modelo de HEC RAS del modelo de inundación presentado en 5_1_5_HIDROLOGIA, ecuación que comienza a funcionar cuando el PIT se llena hasta la cota de salida hacia el canal natural del Guacas 813,94 msnm con un volumen de 76.561.828 m3.

$$\sum Q_{in}(t) = \frac{dS}{dt} + \sum Q_{out}(t)$$

Ecuación 2.130 Balance de masas

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot \Delta t = (V_2 - V_1) + \left(\frac{O_1 + O_2}{2}\right) \cdot \Delta t$$

Definiendo los volúmenes de entrada y salida durante el intervalo Δt:

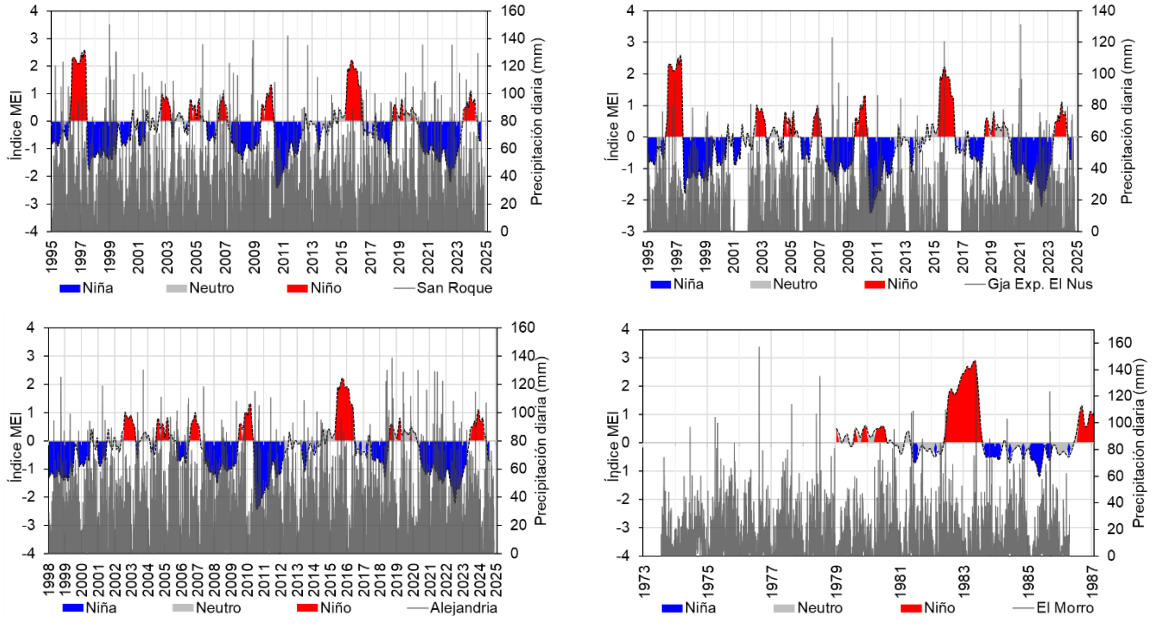
- Volumen total de entrada: $V_{in} = \left(\frac{I_1+I_2}{2}\right) \cdot \Delta t$
- Volumen total de salida: $V_{out} = \left(\frac{O_1+O_2}{2}\right) \cdot \Delta t$

La ecuación queda expresada en términos netos de **volúmenes**:

$$V_{in} = (V_2 - V_1) + V_{out}$$

Ecuación 2.131 Integración numérica en el tiempo de la ecuación del balance de masa

El cálculo del proceso de llenado del Tajo Gramalote se calculó eligiendo los años 2015 a 2016 coincidente con el fenómeno del niño y 2021 coincidente con el fenómeno de la niña, los fenómenos recientes con mayor influencia en las precipitaciones (ver Figura 2.83).



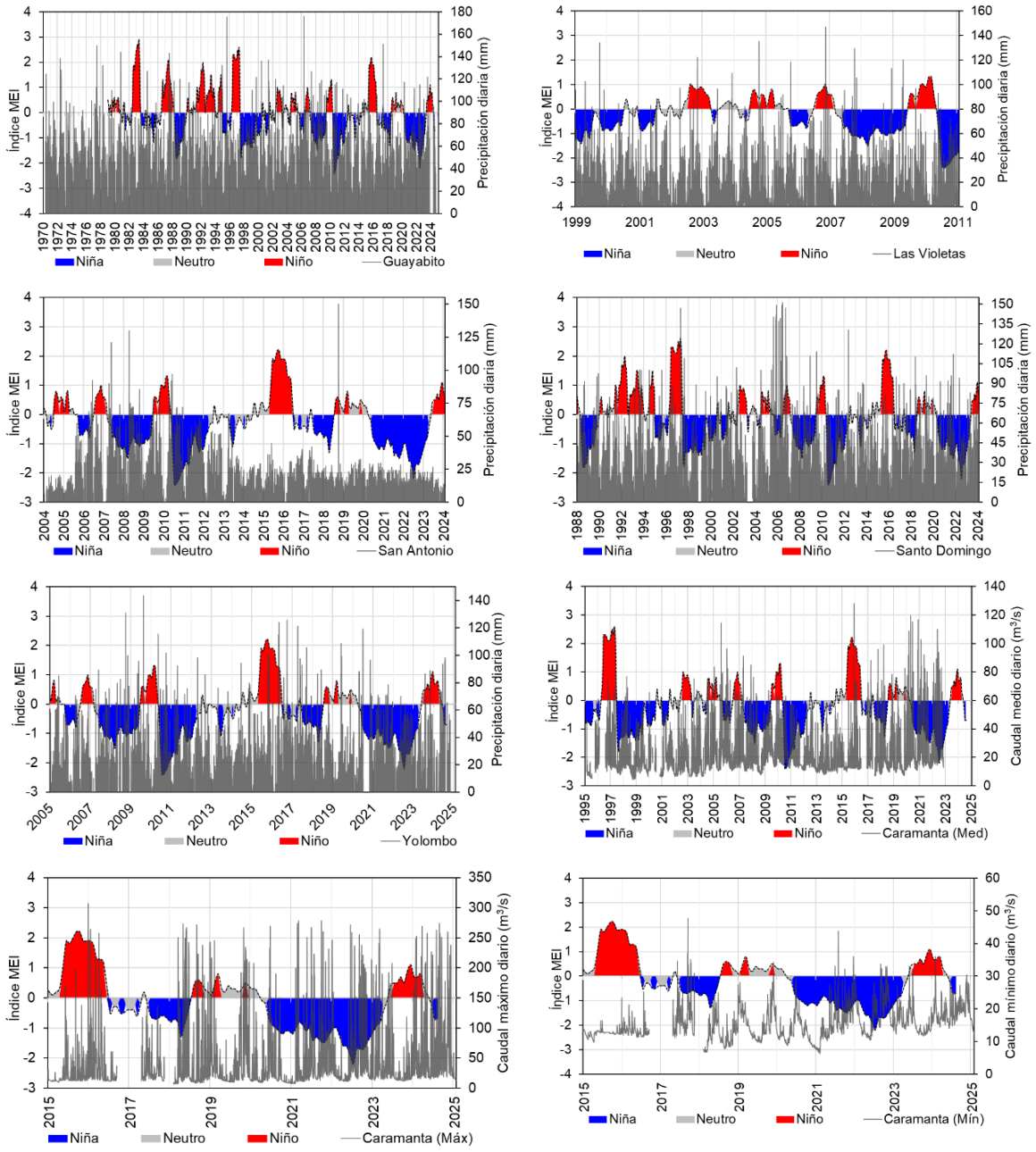


Figura 2.83 Análisis grafico realizado para verificar la correlación de la precipitación y el caudal con el fenómeno ENSO.

Fuente: Integral S.A., 2025

Lo anterior permitió realizar la estimación del llenado del PIT para los años previamente mencionados, considerando que, para el mes de enero, que corresponde al período de menores precipitaciones, el llenado del PIT podría llevar entre seis y nueve meses. Esta estimación asume que, durante toda la maniobra, el túnel de desviación permanece completamente abierto, garantizando el paso del caudal ambiental de la quebrada Guacas, correspondiente a 2,58 m³/s.

2.3.12.4.2 Plan de cierre progresivo

Más que de orden ambiental, el plan de cierre progresivo es un plan de orden financiero; pues transfiere parte de los costos de cierre a la vida útil del proyecto y disemina este recurso en el tiempo. Tal como lo establecen los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016), "*Las actividades de cierre progresivo constituyen el mecanismo más importante para minimizar la cantidad de esfuerzo necesario para la implementación de medidas de cierre final y optimizar los resultados del cierre*." (MADS_ANLA, 2016, p. 141).

El objetivo del plan de cierre es evaluar sobre el avance minero cuáles áreas pueden liberarse año a año y programar un manejo en el tiempo que minimice los costos y actividades para la etapa de cierre en la cual ya no se genera producción. Se recomienda sobre la secuencia año a año para los primeros cinco años y la quinquenal hasta el cierre y establecer cuál puede ser la secuencia de cierre progresivo que permita alcanzar un avance hasta el cierre de la explotación, teniendo como horizonte el plan de cierre inicial.

Este numeral presenta la secuencia minera resaltando las áreas liberadas, en caso de que el diseño considere se puedan liberar, y una tabla asociada con las actividades de orden técnico (obra de estabilización, obra hidráulica) y de orden ambiental (diseño de paisaje, reforestación, restauración, o una equivalente).

2.3.12.4.3 Plan de cierre temporal

El plan de cierre temporal usualmente se materializa bajo dos escenarios; el primero, asociado a una contingencia, normalmente de orden social que trasciende las fronteras incluso las instalaciones del proyecto; o bien una condición de mercado del producto que se encuentra en explotación. En ese orden de ideas, el primer evento exige una respuesta que se activa desde el plan de contingencia que hace parte del plan de gestión del riesgo, mientras que el escenario dos, permite tomar decisiones y establecer el cierre con cierta gradualidad, especialmente en lo relacionado con temas laborales.

Por procedimiento establece una lista de chequeo por actividad y por frente que minimiza los riesgos de un evento contingente en cadena, producto del cierre temporal del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**.

Hacen parte del procedimiento no solo garantizar el cierre temporal minimizando los riesgos ambientales que se potencializan con el cierre, sino las actividades para la puesta a punto para el retorno a las actividades cotidianas.

Si bien no es un tema ambiental, hace parte del procedimiento "informar a las Autoridades Minera y ambiental la suspensión de sus operaciones, indicando el tiempo estimado de la suspensión, y el respectivo Plan de Cierre Temporal que va a implementar para su pronunciamiento." (MADS_ANLA, 2016, p. 142).

2.3.12.4.4 Actualizaciones el plan de cierre

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016) el plan de cierre debe actualizarse, mínimamente, cada cinco años. Por lo que el documento presenta una lista de chequeo con las actividades que deben ejecutarse en el proceso de actualización, bien cada cinco años o bien ante la demanda de la autoridad ambienta competente, en caso de que esta no haga solicitud detallada del alcance de la actualización. En caso de que la autoridad ambiental establezca una tabla de contenido para la actualización del plan de cierre, prevalece la solicitud del ente de control.

2.3.12.4.5 Plan post cierre

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016), el plan post cierre pretende establecer la eficiencia y la eficacia del cierre minero. En otras palabras, no solo que se haya cumplido con el cierre de acuerdo con lo planeado, sino que lo ejecutado se haya hecho en los plazos y tiempos establecidos y acordados con la Autoridad Ambiental, sino que realmente tenga un impacto positivo sobre el ambiente. Este plan, por tanto, establece la lectura de indicadores para evaluar la celeridad en incorporarse el área de influencia del proyecto en el territorio y determina si el arreglo, diseño de paisaje definido, fue pertinente o no.

Para el diseño de las actividades de post – cierre se presenta un plan de manejo y un plan de monitoreo y seguimiento con formato de ficha de manejo por medio, por tanto, este numeral incluirá una primera versión del programa de manejo post – cierre medio abiótico PMA_POST_01_Abio), del programa de manejo post – cierre medio biótico (PMA_POST_02_Bio) y del programa de manejo post – cierre medio socioeconómico (PMA_POST_03_Soc). Es importante aclarar que el social incluirá el componente de participación; pues una vez la autoridad ambiental competente, en este caso la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, expida el acto administrativo declarando el cumplimiento del Plan de Cierre Minero, el Programa de manejo de atención, información y participación comunitaria para cierre minero (PMA_ SOC _01_CIERRE) cesa.

2.3.12.4.6 Áreas contiguas o vecinas

Para cumplir con el principio de armonía que se establece en los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016), y que deberá estar consignado en las actas de socialización elaboradas con las comunidades y autoridades del área de influencia en las cuales quedó consignado el interés futuro del uso del suelo de las áreas de minería y áreas auxiliares; en este numeral se valida que el plan de desmantelamiento se ajuste a criterios regionales “que conlleven a una misma destinación del uso del suelo de acuerdo al ordenamiento ambiental y territorial” (MADS_ANLA, 2016, p. 143).

Este numeral presenta igual a otros, una lista de chequeo con los criterios que el **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote** debe considerar para cumplir con un principio de armonía de orden regional.

2.3.12.4.7 Participación ciudadana

Atendiendo a la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018, este numeral presenta una estrategia de información a las comunidades y autoridades del área de influencia del **Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**. La propuesta que se presenta corresponde a una versión ajustada al Programa de manejo de atención, información y participación comunitaria (PMA_ SOC _01) que se presenta en el numeral de planes de manejo ambiental. El ajuste está asociado a las acciones propias de cierre. Se presenta en formato de ficha de manejo, con su respectiva ficha de monitoreo y se denomina con el mismo nombre con el anexo “cierre”: Programa de manejo de atención, información y participación comunitaria para cierre minero (PMA_ SOC _01_CIERRE).

2.3.12.4.8 Consulta de normas locales

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016) para la elaboración y actualizaciones, ajustes y complementación de los planes de cierre se tuvieron en cuenta las normas relacionadas con ordenamiento territorial. Adicionalmente se consideró la legislación

ambiental relacionada con licencias ambientales y la relacionada con participación ciudadana. El producto corresponde a la siguiente tabla diligenciada y analizada.

Tabla 2.189 Verificación normativa para el diseño o ajuste del plan de cierre

No.	Documento	Jurisdicción	Vigencia (año inicial/año final)	Revisado (Si/No)	Observaciones
0	Actualización Decreto 1076/2015 (si aplica)				
1	Plan Nacional de Desarrollo				
2	Plan de Ordenamiento Territorial o equivalente				
3	Plan Departamental de Desarrollo				
4	Plan Municipal de Desarrollo				
5	ICA (versión última) del Programa de manejo de atención, información y participación comunitaria (PMA_ SOC _01) / incluidos anexos.				
6	Otros, que la actualización considere				

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.12.4.9 Actualización final del plan de cierre

De acuerdo con los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016) “Corresponde a la última actualización del plan de cierre, el cual debe presentarse 3 (tres) años antes de terminadas las operaciones mineras. Esta actualización comprenderá las actividades que serán definitivamente ejecutadas para el cierre. Ésta es la actualización final del plan de cierre, de acuerdo con las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales previas al cese de las operaciones.” (MADS_ANLA, 2016. p. 144).

Dado que, este plan debe entregarse tres años antes del cierre definitivo, que a la fecha debería considerar lo expresado en los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016) y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales MGEPEA 2018 y que desde el inicio de ejecución deben preverse las acciones de cierre, se anexa una lista de chequeo de todos los elementos que se deben, a la fecha, tener en cuenta para el plan de cierre final.

Tabla 2.190 Lista verificación actividades para diseño del plan de cierre final

Actividad	Aplica (si/no)	Cumplido (si/no/parcial)	Pendiente para diseño final
Verificación compromisos adquiridos con las comunidades y autoridades del área de influencia en materia de cierre minero			
Definición del uso definitivo de las áreas intervenidas.			
Definición de los objetivos de cierre, desmantelamiento, recuperación, restauración y rehabilitación final consultados con los grupos de interés.			
Verificación del estado de actualización del proceso de reducción de la amenaza y la vulnerabilidad y del manejo del riesgo.			

Actividad	Aplica (si/no)	Cumplido (si/no/parcial)	Pendiente para diseño final
Resultado de las actividades de cierre previo ejecutado.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo componente hidrología.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo componente geomorfología.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo componente geotecnia.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo componente paisaje.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo componente forestal.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo estabilidad física.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo estabilidad química.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo aspectos sociales.			
Actividades finales de cierre que serán implementadas, medidas de manejo aspectos económicos.			
Estimación de costos que incurridos para ejecutar las actividades de cierre.			
Estimación de costos que incurridos para ejecutar las actividades de post-cierre.			
Atención de obligaciones de manejo ambiental pendientes (incluir evidencias).			
Definición de las actividades de mantenimiento y seguimiento para la etapa post-cierre medio abiótico (para dar cumplimiento al uso de suelo definitivo).			
Definición de las actividades de mantenimiento y seguimiento para la etapa post-cierre medio biótico (para dar cumplimiento al uso de suelo definitivo).			
Definición de las actividades de mantenimiento y seguimiento para la etapa post-cierre medio socioeconómico (para dar cumplimiento al uso de suelo definitivo).			

Actividad	Aplica (si/no)	Cumplido (si/no/parcial)	Pendiente para diseño final
Propuesta de los indicadores de los impactos para monitoreo post-cierre.			
Informe de resultados ambientales alcanzados con la implementación del PMA			

Fuente: Integral S.A., 2025

2.3.12.4.10 Actividades de post cierre

Tal como se establece en el numeral denominado plan post – cierre, para el diseño de las actividades de post – cierre se presenta un plan de manejo y un plan de monitoreo y seguimiento con formato de ficha de manejo por medio. Cada ficha tiene consignadas las actividades específicas por medio (abiótico, biótico y socioeconómico) que deben ejecutarse. Luego este título de los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental EIA Proyectos de Explotación Minera (2016) ya está considerado en el numeral denominado plan post – cierre.

2.3.12.4.11 Otros planes y programas

A. Plan de inversión del 1% (Inversión forzosa de no menos del 1%)

De acuerdo con el artículo 2.2.9.3.1.1. denominado *campo de aplicación* que se presenta en la Sección 1, Capitulo 3, Titulo 9, Parte 2, Libro 2 del Decreto 1076 de 2015 “Todo proyecto que requiera licencia ambiental y que involucre en su ejecución el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales para cualquier actividad, deberá destinar no menos del 1% del total de la inversión para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica, de conformidad con lo dispuesto en el parágrafo 1 del artículo 43 de la Ley 99 de 1993”

Para ello, atendiendo a lo establecido en el artículo 2.2.9.3.1.3., y teniendo en cuenta que el producto final es el documento de **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote**:

Actividad 1: conocer el alcance del plan de inversión del 1%, hoy denominado plan de inversión forzosa de no menos del 1%. Para ello deberá consultarse el Estudio de Impacto Ambiental elaborado y entregado para el proceso de licenciamiento.

Actividad 2: conocer el concepto que, en su momento, emitió la autoridad ambiental competente, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA respecto a la propuesta presentada por GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED.

Actividad 3: hacer seguimiento a los avances del plan de inversión aprobado por las autoridades ambientales y establecer lo ejecutado, lo pendiente tanto en inversión como en compromisos.

Aclarado el estado actual de la inversión y cumplimiento de requisitos del plan de inversión forzosa, se procede, para el nuevo plan de trabajo y obras con la verificación de las condiciones que se establecen en este artículo (Actividad 4):

- Que el agua sea tomada directamente de una fuente natural superficial o subterránea.
- Que el proyecto requiera licencia ambiental.
- Que el proyecto, obra o actividad involucre en cualquiera de las etapas de su ejecución el uso de agua.

- Que el agua tomada se utilice en alguno de los siguientes usos: consumo humano, recreación, riego o cualquier otra actividad

Adicionalmente y tal como lo establece el parágrafo del artículo 2.2.9.3.1.3., al corresponder a una modificación se debe verificar si (Actividad 5):

- La solicitud de modificación de licencia implica si o no incremento en el uso de agua de una fuente natural o
- Cambio o inclusión de nuevas fuentes hídricas.

En cualquiera de los casos, el paso a seguir será la estimación estimada para la inversión adicional asociada a la modificación (Actividad 6).

Estimado el monto, se procede con la destinación de este (Actividad 7), que deberá hacerse en línea con lo que se viene adelantando en el proceso de ejecución del proyecto, no sin antes verificar que se cumpla con lo establecido en el artículo 2.2.9.3.1.4. del decreto 1076 de 2015, en función del ámbito geográfico.

- La subzona hidrográfica dentro de la cual se desarrolla el proyecto.
- La zona hidrográfica dentro de la cual se desarrolla el proyecto.

Actividad 8: para la destinación de los recursos de inversión de no menos del 1% es condición *sine qua non*, cumplir con lo establecido en el artículo 2.2.9.3.1.9. Destinación de los recursos de la inversión de no menos del 1%, así:

1. Cuando se haya adoptado el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca, en desarrollo del Parágrafo 1 del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 216 de la Ley 1450 de 2011, en las actividades que se señalan a continuación:

a) Acciones de protección, conservación y preservación a través de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación, dentro de las cuales se puede incluir el desarrollo de proyectos de uso sostenible. En esta línea de inversión se podrá dar prioridad a áreas degradadas por actividades ilícitas.

b) Acciones de recuperación, a través de la construcción de interceptores y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en los municipios de categorías 4, 5 y 6. Esta acción solamente podrá proponerse siempre y cuando la titularidad de las obras sea de los entes territoriales y que éstos a su vez garanticen los recursos para la operación y mantenimiento de estas estructuras.

c) Acciones de vigilancia del recurso hídrico a través de la instrumentación y monitoreo de variables climatológicas e hidrológicas con estaciones hidrometereológicas y/o con radares, según la tecnología que defina el IDEAM. Esta acción podrá proponerse siempre y cuando el titular del proyecto y el IDEAM aseguren el financiamiento de la operación de dicha instrumentación.

2. En desarrollo del artículo 174 de la Ley 1753 de 2015 que modifica el artículo 108 de la Ley 99 de 1993, así: en Acciones Complementarias, mediante la adquisición de predios y/o mejoras en áreas o ecosistemas de interés estratégico para la conservación de los recursos naturales, al igual que en áreas protegidas que hagan parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas -SINAP.

3. En ausencia del respectivo Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, en desarrollo del Parágrafo 2 del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 216 de la Ley 1450 de 2011, los recursos se deberán invertir en su formulación o adopción, para lo cual el titular de la licencia ambiental podrá destinar hasta el porcentaje fijado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, siempre y cuando la autoridad

ambiental administradora asegure, con otras fuentes de recursos, el financiamiento total de este instrumento y, el porcentaje restante de la inversión, deberá ser destinado a las actividades listadas en el numeral 1 del presente artículo.

Producto de esta actividad será establecer si el río Nus cuenta con Plan de Ordenación y Manejo de cuenca; de tenerlo vigente, presentar el tipo de inversión que puede hacerse en orden a las inversiones que GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED viene adelantando como parte del plan de inversión forzosa de no menos del 1%

Actividad 9. Aclaraciones a la inversión. Previa presentación de la propuesta se debe verificar que no se incurra en omisión a restricciones establecidas por la ley, y que se listan a continuación para ser validadas.

- Obras y actividades orientadas a prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos y efectos ambientales que se encuentren en el Plan de Manejo Ambiental del proyecto licenciado, no harán parte del Plan de Inversión del 1%.
- En caso de compra de predios, la titularidad de estos podrá ser otorgada a las autoridades ambientales, a Parques Nacionales Naturales de Colombia, a entes municipales o departamentales, a territorios colectivos y a resguardos indígenas, siempre y cuando sean destinados a la recuperación, protección y recuperación de la cuenca.
- Para la realización de los estudios y/o diseños respectivos dentro de las líneas de inversión antes señaladas, se podrá invertir hasta un 10% del valor total de la actividad.
- Sin perjuicio de lo dispuesto en el numeral 1 del artículo 2.2.9.3.1.9 y en el marco de lo dispuesto en el artículo 2.2.3.1.12.1, los recursos podrán destinarse a la actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica en el porcentaje fijado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, siempre y cuando la autoridad ambiental administradora asegure, con otras fuentes de recursos, el financiamiento total de dicha actualización y el porcentaje restante de la inversión se destine a las actividades señaladas en los literales a, b, e y d del numeral 1 citado.
- Con el objetivo de buscar la maximización de los beneficios ambientales, económicos y sociales, los titulares de licencias ambientales y de permisos, concesiones o autorizaciones ambientales relacionados con el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales renovables, podrán agrupar las medidas de inversión del 1% y las medidas de compensación establecidas en dichas autorizaciones, siempre y cuando cada una de las obligaciones cumpla con los requisitos definidos para las mismas y su seguimiento pueda ser medible de manera independiente. Los titulares de licencias, permisos y autorizaciones ambientales estarán obligados a reportar el cumplimiento de cada una de las obligaciones objeto de agrupación de manera independiente a las autoridades ambientales respectivas.
- Los titulares de licencias ambientales, permisos y autorizaciones ambientales podrán generar alianzas para la implementación de las inversiones y compensaciones por el uso y/o aprovechamiento de recursos naturales renovables, en proporción a sus obligaciones, buscando maximizar los beneficios ambientales, económicos y sociales. En todo caso, los titulares de licencias, permisos y autorizaciones ambientales estarán obligados a reportar de manera independiente el cumplimiento de cada una de las obligaciones objeto de alianzas a las autoridades ambientales respectivas.

EL documento presenta una justificación que evidencia el cumplimiento en caso de darse, de uno o varios de estos escenarios.

2.3.12.5 Plan de compensación por pérdida de biodiversidad

La metodología para la formulación y ejecución del Plan de Compensación por Pérdida de Biodiversidad del proyecto Gramalote se desarrolló bajo los lineamientos establecidos en el Manual de Compensaciones del Componente Biótico (MADS, 2018) y en cumplimiento de las obligaciones derivadas de la Licencia Ambiental otorgada mediante la Resolución 1514 de 2015 y su modificatoria, la Resolución 0782 de 2019, expedidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). El proceso metodológico se estructuró de manera secuencial e integrada, abordando de forma articulada los componentes de cuantificación, localización, diseño e implementación de las medidas de compensación, con el objetivo de garantizar el principio de no pérdida neta de biodiversidad y la permanencia de las acciones en el largo plazo.

En primera instancia, se realizó la determinación del “cuánto compensar”, a partir de la identificación de los impactos residuales sobre el componente biótico asociados a las diferentes etapas del proyecto, con base en la información contenida en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y su Modificación. Esta etapa incluyó el análisis de coberturas vegetales, ecosistemas afectados y equivalencias ecosistémicas, permitiendo ajustar las áreas de compensación conforme a los criterios técnicos definidos por la normativa vigente y a los refinamientos derivados de la actualización cartográfica y predial.

Posteriormente, se definió el “dónde compensar” mediante un análisis territorial a escala de paisaje, que integró variables biofísicas (zonas de vida, coberturas de la tierra, estado sucesional, conectividad ecológica, rondas hídricas), administrativas y prediales, así como los antecedentes de aprobación de alternativas por parte de la autoridad ambiental. Este análisis permitió priorizar un conjunto de alternativas previamente aprobadas, sobre las cuales se realizó un ejercicio de afinamiento técnico orientado a la optimización de áreas, la precisión de polígonos y la focalización de acciones, sin implicar la solicitud de nuevas alternativas de compensación.

El componente metodológico del “cómo compensar” se fundamentó en la definición de estrategias diferenciadas de preservación y rehabilitación ecológica, seleccionadas en función del tipo de cobertura, el grado de transformación y las dinámicas ecosistémicas locales. Para las áreas más transformadas se priorizaron tratamientos de rehabilitación activa, tales como nucleación con módulos multiestrato, árboles nodriza, enriquecimiento y cordones protectores, mientras que para las coberturas con mayor integridad ecológica se plantearon acciones de preservación orientadas al control de factores tensionantes y a la protección a largo plazo. Estas acciones se diseñaron bajo un enfoque adaptativo, permitiendo ajustes durante su implementación con base en los resultados del monitoreo.

La ejecución del plan se concibe de manera progresiva y escalonada, alineada con las fases del proyecto minero (reasentamiento, construcción y montaje, operación y cierre), y con un horizonte temporal de 20 años, de conformidad con lo establecido en el Manual de Compensaciones del Componente Biótico. Este horizonte incorpora las etapas de establecimiento, mantenimiento, seguimiento, monitoreo y gestión, e incluye la definición de mecanismos legales, operativos y financieros que aseguran la viabilidad, trazabilidad y sostenibilidad de las acciones de compensación.

Finalmente, la metodología integra un Plan de Monitoreo y Seguimiento basado en indicadores de cobertura, diversidad, supervivencia, regeneración natural y estado fitosanitario, que permite evaluar el desempeño de las acciones implementadas, verificar las ganancias en biodiversidad y retroalimentar de manera continua el proceso de gestión adaptativa. Este esquema metodológico garantiza la coherencia entre la formulación del plan, su ejecución en campo y el cumplimiento efectivo de las obligaciones ambientales establecidas por la ANLA.

2.4 CONSULTORES

GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED contrató para la elaboración de la **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote** un grupo de empresas especializadas en los diferentes componentes del estudio.

Para la actualización del Plan de Trabajo y Obras 2025, se incorporaron, adicional al personal de planta de Gramalote Colombia, las empresas que se presentan en la Tabla 2.7. Para los estudios ambientales propiamente dichos, fue contratada como responsable para la elaboración del documento la compañía INTEGRAL S.A., e integración de los componentes elaborados por las empresas consultoras especialistas en determinados componentes y que acompañan el monitoreo que respalda las acciones de manejo para una etapa previa del proyecto.

A continuación, la relación de profesionales que participaron en la elaboración del documento de **Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.**

Tabla 2.191 Personal profesional encargado de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

NOMBRE	PROFESIÓN	RESPONSABILIDADES DENTRO DEL ESTUDIO
Jorge Luis Lopez Muñoz	Ingeniero Civil	Director de proyectos
Luis Santiago Rodriguez	Ingeniero Civil	Director área Ambiental
Oscar Alonso Vargas Ocampo	Ingeniero Civil	Líder técnico
Laura Salazar Mejía	Ingeniera ambiental	Coordinador del proyecto
Maria Fernanda Cadavid Caceres	Geóloga	Especialista en Sistemas de Información Geográfica
Lina Maria Monsalve Cortez	Ingeniera forestal	Especialista en Sistemas de Información Geográfica
Víctor Hugo Ortiz Chitiva	Dibujante	Dibujante proyectista
Sebastián Urrego Urrego	Dibujante	Dibujante proyectista
Adriana Marcela Blanco Palacio	Ingeniero geólogo	Profesional abiótico experto en Hidrogeología
Alejandra Stave Serrano	Ingeniera Geóloga	Profesional abiótico Geólogo especialista
Zorany Suley Zapata Mosquera	Ingeniera Civil	Profesional abiótico experto en Geotecnia
Joshua Naranjo Giraldo	Ingeniera Civil	Profesional abiótico experto en Geotecnia
Federico Posada Jaramillo	Ingeniero Civil	Profesional abiótico experto en hidráulica e hidrología
Sebastián Cardona Hoyos	Ingeniero Civil	Profesional abiótico experto en hidráulica e hidrología
Yesica Olaya Foronda	Ingeniero Civil	Profesional abiótico experto en hidráulica e hidrología
Lina Betulia Arteaga Avila	Ingeniero Civil	Profesional abiótico experto en hidráulica e hidrología
Laura Marcela Cortes Molina	Ingeniero ambiental	Profesional abiótico experto en Estudios ambientales
Luz Maria Morales	Ingeniero ambiental	Profesional abiótico experto en Estudios ambientales
Julian Castañeda Valderrama	Ingeniero ambiental	Profesional abiótico experto en Gestión de riesgos
Ana Maria Cárdenas Restrepo	Bióloga	Profesional biótico experto en fauna e hidrobiológicos

NOMBRE	PROFESIÓN	RESPONSABILIDADES DENTRO DEL ESTUDIO
Luisa Fernanda Villalba	Bióloga	Profesional biótico experto en fauna
Cesar Augusto Velasquez R	Biólogo	Profesional biótico experto en flora
Daniela Molina Franco	Ingeniero forestal	Profesional biótico experto en flora
Angie Lorena Lopez Pulgarín	Biólogo	Profesional biótico experto en epifitas
Sergio Andrés Mejia	Ingeniero ambiental	Profesional biótico experto en vedas
Liliana Maria Gallego	Bióloga	Profesional biótico experto en fragmentación
Paola Martinez Lopez	Bióloga	Profesional biótico experto en conectividad
Cristian David Zuluaga Echavarría	Antropólogo	Profesional social experto en comunidades
Cindy Andrea Urrego Espinosa	Planeación y desarrollo social	Profesional social experto en comunidades
Marlly Tatiana Meneses Carvajal	Economista	Profesional social experta en valoración económica

Consultor encargado	Especialidad
SHI S.A.S	Consultoría en Hidrogeología
SGS	Consultora en monitoreos de calidad del agua superficial e hidrobiológicos
EYC Global	Consultora en monitoreo y modelaciones atmosféricas (Aire y Ruido)
ORICA	Consultora en monitoreo y análisis en uso de explosivos y sistemas de voladuras, entre otros.
Tierra Group International	Consultor en componentes geotécnicos para la concepción, diseño, construcción y operación de las estructuras materiales de la industria minera.
GOTTA Ingeniería	Consultora en muestreos en recurso hídrico en relación con levantamientos topográficos y batimétricos, hidrología, hidráulica, ordenamiento del recurso hídrico, calidad del agua, hidrogeología e instrumentación ambiental

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, R. D. (2015). *Calibración de los parámetros detonantes de la Metodología SES (1989) aplicada en la generación de un escenario de amenaza por deslizamientos en la ciudad de Cartagena.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

AguilarJ, J. D. (1999). *Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía y la metodología técnica de toma de muestras y análisis para su investigación.* Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=iZg6DwAAQBAJ&pg=PA16&lpg=PA16&dq=AguilarJ,+J.,+Dorronsoro,+C.,+G%C3%B3mez+Ariza,+J.,+%26+Gal%C3%A1n,+E.+(1999).+Los+criterios+y+est%C3%A1ndares+para+declarar+un+suelo+como+contaminado+en+Andaluc%C3%ADa+y+la+metodolog%C

Ajbilou, R., Marañón, T., & Arroyo, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Forest Systems, 12*(2), 111-123. doi:https://doi.org/10.5424/805

Alcaldía Municipal de San Roque. (2022). *Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Roque - Actualizado 2022.* San Roque.

Alonso F A. M., F. B. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia, 39(1),*, 140-156.

Alvis Gordo, J. (Enero-Junio de 2009). análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias, 7*(1).

Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., & La Marca, E. . (2006). *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. .* Conservación Internacional.

Angulo, et al. 2006. (s.f.).

ANLA. (2016). *TDR 13 Términos de referencia para la elaboración de estudio de impacto ambiental- EIA proyectos de explotación minera.* Bogotá D.C: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

ANLA. (2016). *Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera.* Obtenido de Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA-Términos de referencia: https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/normativa/terminos_referencia/resolucion_2206_tr_mineria_2016.pdf

ANLA. (2021). Autoridad de licencias ambientales. *Cálculo de la representatividad del muestreo de especies en veda nacional bajo Resolución 0213 de 1977 del INDERENA por cobertura de la tierra, para proyectos con área de intervención definida en el marco del licenciamiento ambiental*. Obtenido de ANLA: https://www.anla.gov.co/

ANLA. (2023). *Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados.* Bogotá, Colombia.: Autoridad Nacional de Licencia ambientales.

ANLA. (2023). *Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental.* Bogotá: ANLA.

ANLA, A. N. (2017). *Criterios Técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental.* Bogotá D.C.

ANLA, A. N. (2022). *Guía para la definición de la tasa de descuento: aspectos relevantes en el marco del licenciamiento ambiental.* Obtenido de https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/proyectos/02_transformacionales/03_nuevo_modelo/Documentos/04-04-2022-anla-definici%C3%B3n_tasa%20de_descuento.pdf

APHA-AWWA-WPCF. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23 ed.). Washington D.C.

Arias et al. 2021. (s.f.).

Armenteras, D. G. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). *NSR-10 - Título A - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.* Bogotá: AIS.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. (2018). *Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales.* Bogotá: ANLA.

Ayerbe, 2018. (s.f.).

Ayerbe-Quiñones, F. (2022). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana (Segunda edición ed.).* Bogotá: Wildlife Conservation Society Colombia.

Ayerbe-Quiñones., F. (2018). *Guía Ilustrada de la Avifauna Colombiana A Field Guide to the Birds of Colombia.* Bogotá: Puntoaparte Bookvertising.

Baguette M., V. D. (2007). Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology Springer Science+Business*, 22:1117–1129.

Bandyopadhyay S., S. M. (2019). Evaluation of ecological restoration success in mining-degraded lands. *Environmental Quality Management. 29.*, 1–12.

Bani, L. B. (2002). The Use of Focal Species in Designing a Habitat Network for a Lowland Area of Lombardy, Italy. . *Conservation Biology, 16.*, 826-831. .

Barlow C.P., K. K. (2020). Evaluation of the Umbrella Species Concept at Fine Spatial Scales. *J ournal Wildl. Manag. 84,*, 237–248.

Barnett, A. &. (1995). *Expedition field techniques: small mammals* . London: Expedition Advisory Centre Royal Geographical Society.

Bartkowski, B. L. (2015). Capturing the complexity of biodiversity: A critical review of economic valuation studies of biological. *Ecological Economics*, https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.02.023.

Bastidas. (2019). *Modelo conceptual de la recarga de aguas subterráneas en el nivel somero del Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, evaluando su magnitud y variabilidad espacio-temporal [Bachelor Thesis].* Medellin: Universidad de Antioquia.

Bastidas, B. D. (2019). *MODELO CONCEPTUAL DE LA RECARGA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL NIVEL SOMERO DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO GOLFO DE URABÁ, EVALUANDO SU MAGNITUD Y VARIABILIDAD ESPACIO – TEMPORAL.* Medellin: Universidad de Antioquia.

Benítez J. A., A. S.-M.-A. (2021a). Vías de comunicación terrestre vs. fauna: la experiencia global. En E.-S. G. Benítez Jorge A., *Impacto de las vías de comunicación sobre la*

fauna silvestre en áreas protegidas: estudios de caso para el sureste de Mexico (págs. 62-87). México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur).

Benítez J., P.-V. A.-S. (2021b). Contaminación por ruido de fuentes fijas y móviles en el área de protección de flora y fauna Laguna de. En E.-S. G. Benítez Jorge A., *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas. Estudios de caso para el sureste de México.* (págs. (pp.235-252)). Mexico: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur).

Bennie J., D. J.-C. (2015). Global Trends in Exposure to Light Pollution in Natural Terrestrial Ecosystems. . *Remote Sensing, 7(3),*, 2715-2730.

Berkes, F. Y. (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability". En Berkes, F. y Folke, C. (Eds.). Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience.

BOLFOR, Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal.* (P. d. (BOLFOR), Ed.) Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Bracamonte, J. C. (2018). *Protocolo de muestreo para la estimación de la diversidad de murciélagos con redes de niebla en estudios de ecología.* San Salvador de Jujuy: Centro de Investigaciones Básicas y Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.

Bradbury, K., Fienen, M., Kniffin, M., Krause, J., Westenbroek, S., Leaf, A., & Barlow, P. (2017). *Groundwater flow model for the Little Plover River basin in Wisconsin's Central Sands.* Wisconsin Geological and Natural History Survey. doi:http://pubs.er.usgs.gov/publication/70186797.

Bransby. (1990). *Métodos para el cálculo del tiempo de concentración de cuencas.*

Bray, D. (1979). Estimating Average Velocity in Gravel-Bed Rivers. *Journal of the Hydraulics Division*, 1103-1122.

Broucek J. (2014). Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals. . *Slovak Journal of Animal Science, 47*, 111-123.

C.I.M.A, C.I. (2014). *Informe monitoreo de Suelos, derrame plataforma 5 y Caño Agua blanca.* Obtenido de Lousina 29B: https://www.ramajudicial.gov.co/documents/10635/11583843/AP+16-2345+ANEXOS.pdf/d3f1aaed-4338-44f2-8572-da2aad09b9d7

Calderon, E., Galeano, G. A., & Garcia Castro, N. J. (2002). *Libro rojo de plantas fanerógamas de Colombia: Volumen 1: Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae y Lecythidaceae.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Cardona, J., & Londoño, A. (1991). *Trabajo de Grado.* Universida Nacional de Colombia.

Carlisle J. D., C. A. (2018). Nontarget effects on songbirds from habitat manipulation for greater sage-grouse: implications for the umbrella species concept. *Condor 120*, 439–455.

Caro T. M. (2010). *Conservation by Proxy: Indicator, Umbrella, Keystone, Flagship, and Other Surrogate Species.* Washington, DC, USA.: Island Press.

Carvajal, J. H. (2011). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia .* Bogota: Ingeominas.

Castellanos, R. (1996). *Lluvias críticas en la evaluación de amenazas de eventos de remoción de masa. Tesis de Maestría (Geotecnia).* Santafé de Bogotá.: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia.

CDA. (2019). *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams.* Canadian Dam Association.

Ceballo, D., & Toro, L. J. (2012). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 14.

Chao, A. G. (2014). *arefacción y extrapolación con números de Hill: un marco para el muestreo y la estimación en estudios de diversidad de especies. Ecological Monographs.*

Chao, A. G. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *In Ecological Monographs*.

Chaparro-Herrera, S., Lozano, M., & Echeverry-Galvis, M. A. (2024). Listado de las aves Endémicas y Casi-Endémicas de Colombia: Evaluación 2013-2023. *Ornitología Colombiana, 25*, 34-45.

Chávez, E., & Jaramillo, A. (1998). *Cálculo de la evapotranspiración potencial total anual.* Cenicafé.

Chow, V. (1959). *Open-Channel Hydraulics.* McGraw-Hill Book Company. Obtenido de https://ingeciv.com/coeficiente-de-manning-n-guia-completa-y-tabla-de-referencia/

Chow, V. (1983). *Open-Channel Hydraulics.* McGraw-Hill Book Company.

Chow, V. (1988). *Handbook of Applied Hydrology.* McGraw-Hill.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada.* McGraw-Hill International editions.

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology.* New York: McGraw-Hill.

CITES. (2025). *Appendices*. Obtenido de Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: https://cites.org/eng/app/appendices.php

CITES. (2025). *CITES*. Obtenido de https://cites.org/esp/app/index.php

CITES. (2025). *Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres: Apéndices I, II y III en vigor a partir de 2025.* Obtenido de https://cites.org/esp/app/appendices.php

Clevenger, A. J. (2002). GIS-generated, expert-based planning mitigation passages. *Conservation Biology 16(2)*, 503–514.

Colwell, R. K. (Enero de 2013). Statistical Estimationof Species Richness and Shared Species from Sample.

Colwell, R. K., Anne, C., Gotelli, N. J., Lin, S. Y., Mao, X. C., Chazdon, R. L., & Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking. *Plant Ecology*, 21 pp.

Conservación Internacional Colombia. (2015). *TREMARCTOS-COLOMBIA*, 3.0. Recuperado el Marzo de 2025, de http://www.tremarctoscolombia.org/index.html

CORCUENCAS. (2017). *Actualización POMCA río Recio y Venadillo. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica.* Ibagué.

CORNARE. (2014). *Acuerdo No. 312 del 4 de septiembre de 2014 por medio del cual se delimita, reserva y declara Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña. Corporación Autónoma Regional del Nordeste de Antioquia.*

CORNARE. (29 de mayo de 2020). Acuerdo 404 del 2020. *Por el cual se declara la veda para algunas especies silvestres, en la jurisdicción de CORNARE y se toman otras determinaciones*.

CORPOICA & IGAC. (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia.* Bogotá D.C: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Subdirección de Investigación en Sistemas de Producción.

Cowan, W. (1956). Estimating Hydraulic Roughness Coefficients. *Agricultural Engineering*, 473-475.

Crooks, K. &. (2006). *Connectivity Conservation (Conservation Biology). .* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecological Society of America*, 476-496.

De Martonne, E. (1926). *Aréisme et Indice d'aridité. Paris: Comptes Rendus de L'Academy of Science.*

Diaz et al. 2012. (s.f.).

Díaz-Pulido, A. y. (2012). *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia.* Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia.

DIN. (1999). DIN 4150-3. *Structural vibration-part 3: Effects of vibration on structures*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Duarte M., S.-L. R. (2015). The impact of noise from open-cast mining on Atlantic forest biophony. . *Biological Conservation.* , 191. 631. .

Dueñas V. D., F. A.-Q. (2024). Análisis y estimación de la cobertura forestal de un área urbana. *FIGEMPA:Investigación y Desarrollo, 18(2)*, 14-24.

eBird. (2025). *eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]*. (eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York) Obtenido de https://ebird.org/explore

Empresas Públicas de Medellín. (2005). Cincuenta año de hidrometereología en Empresas Públicas de Medellín. *Revista Hidrometerológica*.

Engott, J., Johnson, A., Bassiouni, M., Izuka, S., & Rotzoll, K. (2017). *Spatially distributed groundwater recharge for 2010 land cover estimated using a water-budget model for the Island of O'ahu, Hawai'i. Scientific Investigations Report (versión 1.)*. U.S. Geological Survey. doi:https://doi.org/10.3133/sir20155010.

Erbe C., D. M. (2022). The Effects of Noise on Animals. En T. J. Erbe Christine, *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1Methods* (pág. 517). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Etter, A. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje.* Bogotá.

Finol. (1976). Métodos de regeneración natural de algunos tipos de bosques venezolanos. *Revista Forestal Venezolana, 26*, 17-44.

Flórez, A. (2003). *Colombia: Evolución de sus relieves y modelación.* Universidad Nacional de Colombia.

Foltête J.-C., V. G. (2021). Graphab: una aplicación para modelar y gestionar redes de hábitats ecológicos. . *Software Impacts.8:* , 100065.

Foltête JC, C. C. (2012). Una herramienta de software dedicada al modelado de redes de paisajes. *Environmental Modelling & Software, 38*, 316-327.

Forman R. T. (1995a). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Forman R. T., A. L. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics 29*, 207-231.

Forman R.T.T. (1995b). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology 10*, 133–142.

Forman, R. (1995). Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. *Cambridge University Press*.

Forman, R. T. (1981). Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience, Volumen 31, Número 10.* , 733-740.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D´Elia, M., & Paris, M. (2002). *Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities, and Environment Agencies.* Banco Mundial.

Froese, R. A. (2019). FISHBASE. (World Wide Web electronic publication). Obtenido de http://www.fishbase.de/search.php

Garde, R., & Raju, K. (1978). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems.* Wiley Eastern Limited.

Garrote Germán, C. B. (2019). Estima de densidad de ocelotes (Leopardus pardalis) en los Llanos Orientales de Colombia. . *Galemys, Spanish Journal of Mammalogy. 31*, 1-5.

GBIF. (2025). *Global Biodiversity Information Facility*. Obtenido de https://www.gbif.org/es/occurrence/download

GCL. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote.* Medellín: GCL.

GCL, Gramalote Colombia Limited. (2015). *Estudio de impacto ambiental. Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016.Expediente LAV0018-00-2015.* San Roque, Colombia: Gramalote Colombia Limited.

GCL, Gramalote Colombia Limited. (2018). *Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto Gramalote - proyecto de minería de oro a cielo abierto. Resolución 00782 del 08 de mayo de 2019.* San Roque, Colombia: Gramalote Colombia Limited.

Gentry, A. H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. Evolutionary Biology. Hecht, Wallace and Prance. *(15)*, 1-54. Plenum Publishing Corporation.

Gentry, A. H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. Evolutionary Biology. Hecht, Wallace and Prance. *15*, 1-54. Plenum Publishing Corporation.

Geolical Survey, U. (1973). *Geological Survey Research 1973.*

Geoportal EPM. (s.f.). *Geoportal EPM*. Obtenido de Geoportal EPM: https://grupoepm.maps.arcgis.com/home/index.html

Giandotti. (1990). *Time of Concentration: A Paradox in Modern Hydrology.* Hydrological Sciences Journal.

Golder Associates USA Inc. (2022). *SITE-SPECIFIC PROBABILISTIC - DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT AND ACCELERATION TIME HISTORIES (Gramalote TSF Dam Site, Antioquia, Colombia).* Atlanta.

Gradstein, S. R., Bernal, R., & Celis, M. (2025). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Volumen I y II). Universidad Nacional de Colombia.* Universidad Nacional de Colombia.

Gramalote Colombia. (2025). *Informe de Cumplimiento Ambiental No. 9. Expediente LAV0018-00-2015.* Medellín.

Granstein, S. R., Nadkarni, N. M., Kromer, T., & Holz, I. &. (2003). A protocol for rapid and representative sampling of vascular and non-vascular epiphyte diversity of tropical rain forests. *Marie Selby Botanical Gardens Inc.*, 105-111.

Gravelius H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, I. Rivers, in German). .* Goschen, Berlin.

Grecco, A. (2005). Metodología para la determinación de los caudales de garantía.

Hammer, Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.

Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature.* Applied Eng. in Agric.

Harlow, J., & Hagedorn, B. (2018). *SWB modeling of groundwater recharge on Catalina Island, California, during a period of severe drought.*

Harmonoise. (17 de 12 de 2004). *Digitala Vetenskapliga Arkivet.* Obtenido de https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:674007/FULLTEXT01.pdf

Hawley, M., & Cunning, J. (2017). *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design, Large Open PIT (LOP) Project.* Claytib South Victoria, Australia: CSIRO Publishing.

Heyer et al. 1994. (s.f.).

Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Foster, M. S., &, Hedges, S. B. (1994). *Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians.* Smithsonian Institution Press.

Hidrogeocol. (2012). *Estudio hidrogeológico para la Línea Base del Proyecto Gramalote.*

Hidrología de Antioquia. (1998). *Estimación del Coeficiente de Rugosidad de Manning en Ríos de Montaña.*

Hilty J., W. G. (2021). *Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas.* Gland, Suiza: UICN.

Hirsch, R., Slack, J., & Smith, R. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 107-121.

HUA. (2025). *https://asone.udea.edu.co/udea-herbario-front/#/consultar-ejemplares*. Recuperado el 2025, de https://asone.udea.edu.co/udea-herbario-front/#/consultar-ejemplares

Huertas U., E. J. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad y amenaza de los sistemas hídricos naturales en el marco de la evaluación regional del agua para la cuenca del río Sumapáz, jurisdicción CAR.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Hynes-Griffin, M., & Franklin, A. (1984). Rationalizing the Seismic Coefficient Method. *Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station*, 21.

ICANH. (2021). *Términos de referencia para los Programas de Arqueología Preventiva.*

ICONTEC. (1994). *NTC 3656. Gestión ambiental. Suelo. Toma de muestras de suelo para determinar contaminación.* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

ICONTEC. (1997a). *NTC 4113-1. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para el diseño de programas de muestreo.* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (1997b). *NTC 4113-2. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo.* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá.

ICONTEC. (2004a). *NTC 4113-3. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre seguridad.* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2004b). *Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la investigación de sitios naturales, casi naturales y cultivados.* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Idárraga P, A., Ortíz , R. C., & Callejas P, R. (2025). *Flora de Antioquia: Catálogo de las plantas vasculares. Vol. II. & Missouri Bota.* Universidad de Antioquia & Missouri Botanical Garden.

Idarraga Piedrahita, A., & Ortiz, R. (2011). *Catálogo de las Plantas Vasculares del Departamento de Antioquia.*

Ídarraga Piedrahíta, Á., Ortiz, R. d., Callejas Posada, R., & Merello, M. (2011). Flora de Antioquia Cátalogo de las plantas vasculares Listado de las plantas vasculares del departamento de Antioquia. *II*.

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá D.C.

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.*, 72p. Obtenido de Instituto Geografico de Colombia IGAC.

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodologícos para la evaluación regional del agua, ERA.* Bogotá.

IDEAM. (2017). *IDEAM*. Obtenido de Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC). Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: https://www.andi.com.co//Uploads/MapaEcosistemas2017.pdf

IDEAM. (2017). *IDEAM*. Obtenido de Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC). Escala 1:100.000. Memoria técnica.

IDEAM. (2021). *Mapa de Cobrturas de la Tierra Metodlogía Corine Land Cober Escala 1:100.000 Periodo 2018.* Bogotá: IDEAM.

IDEAM. (2024). Obtenido de Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC). Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: https:/www.andi.com.co/Uploads/MapasEcosistemas2024.pdf

IDEAM. (2024). *IDEAM*. Obtenido de Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC). Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: https:/www.andi.com.co/Uploads/MapasEcosistemas2024.pdf

IDEAM, I. (2015). *Índice de Aridez (IA): Características y Aplicaciones.* IDEAM.

IGAC. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Antioquia.* Bogotá: IGAC.

IGAC. (2014). *Metodología para el levantamiento de suelos.* Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Subdirección de Agrología.

IGAC. (2021). *Clasificación de las tierras por su capacidad de uso (IN-GAG-PC05-02 v1).* Bogotá: IGAC.

INDERENA. (1977). CÁLCULO DE LA REPRESENTATIVIDAD DEL MUESTREO DE ESPECIES EN VEDA NACIONAL BAJO RESOLUCIÓN 0213 DE 1977 DEL INIDERENA POR COBERTURA DE LA TIERRA, PARA PROYECTOS CON ÁREA DE INTERVENCIÓN DEFINIDA EN EL MARCO DEL LICENCIAMIENTO AMBIENTAL.

INDERENA. (1977). Resolución 0213 de 1977. *Por la cual se establece veda para algunas especies y productos de la flora silvestre*. Bogotá DC., Colombia.

INDERENA. (1977). Resolución 0801 de 1977. *Por la cual se declara planta protegida una especie de flora silvestre y se establece una veda*. Bogotá DC., Colombia.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2012). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.* Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2014). *Metodología de LEVANTAMIENTO DE SUELOS.* Bogotá: IGAC.

Integral S.A. (2022). *Anexo zonificación de amenaza por movimiento en masa para el Proyecto Minero Gramalote. I-0010494-SS28-R00.* Medellín.

Integral S.A. (2025). *I-I-0010734-GN-GN-CRITERIOS_GEOTECNIA.* Medellín, Colombia.

Integral S.A. (2025). *I-I-0010734-GN-GN-Criterios-R00.* Medellín, Colombia.

International Finance Corporation. (2015). *Manual de Buena Práctica Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos: Guía para el Sector Privado en Mercados Emergentes.*

INVIAS. (2015). *Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP 14.* Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.

ISO. (2005). *ISO 10381-5. Soil quality – Sampling – Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination.* Geneva: International Organization for Standardization.

IUCN. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species.* Obtenido de The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-1. : https://www.iucnredlist.org.

IUSS Working Group WRB. (2015). Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. En 2. FAO,

Base Referencial Muncial del Recurso Suelo, Actualización 2015 (pág. 106). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Jaramillo, D. F. (2014). *El Suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad.* Medellin : Universidad Nacional de Colombia sede Medellin .

JAXA. (2014). *ALOS PALSAR Radiometrically Terrain-Corrected (RTC) DEM. Alaska Satellite Facility.* . Obtenido de www.earthdata.nasa.gov: https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/alos-palsar-rtc-project

Johnson, A., Engott, J., Bassiouni, M., & & Rotzoll, K. (2018). *Spatially distributed groundwater recharge estimated using a water-budget model for the Island of Maui, Hawai'i, 1978-2007.* Scientific Investigations Report. U.S. Geological Survey.

Jordán, F. B. (2003). Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a Pholidoptera transsylvanica (Orthoptera) metapopulation. . *Landscape Ecology 18*, 83–92.

José Fernando, Navarro P., Andrés, Arias Alzate & Carlos, A. Delgado V. (2021). *Huellas y rastros de los mamíferos en Colombia.* Editorial CES.

Kendall, M. (1975). Rank correlation methods. *Charles Griffin*.

Kennessey, B. (1930). *Lefolyasi tènyezok ès retencik. Vizugy, Kuziemények.*

KEW, R. J. (2025). *Royal Jardin Botánico KEW*. Obtenido de https://powo.science.kew.org/

Kirpich, Z. (1990). *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds.* U.S. Department of Agriculture.

Lambeck R. J. (1997). Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. . *Conservation Biology, 11*, 849-856. .

Landscape and Resource Management Research Group. (2003). V-LATE.

Lane, E., & Carlson, E. (1953). *Some Factors Affecting the Stability of Canals Constructed in Coarse Granular Materials.* U.S. Bureau of Reclamation.

Lasso, C. A., Rial, A., Matallana, C. L., Ramírez, W., Celsa Señaris, J., Díaz-Pulido, A., & Machado-Allison, A. (2011). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: II. Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Lausch, A. B. (2015). Understanding and quantifying landscape structure–A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. . *Ecological Modelling, 295*, 31-41.

Limerinos, J. (1970). *Determination of the Manning Coefficient from Measured Bed Roughness in Natural Channels.* U.S. Geological Survey Water-Supply Paper.

Londoño, J. S. (2012). *Valoración participativa de los bienes y servicios ecosistémicos presentes en el relicto de bosque subxerofítico de la UPZ El Mochuelo Bajo, localidad de Ciudad Bolívar.* Bogotá.

Machiwa, D., & Kumar, S. (2013). *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice.* Springer.

MADS. (2016). Resolución 1740 del 24 de octubre de 2016. *Por el cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales.* Colombia.

MADS. (2018). *METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES.* Bogotá.

MADS. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA).* Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MADS. (2019). *Circular externa No. 8201-2-2378 de 2019: Lineamientos para la identificación y caracterización de especies de flora silvestre en veda nacional en estudios ambientales.* Bogotá D.C., Colombia.

MADS. (2019). Metodología para la caracterización de especies de flora en veda.

MADS. (2024). *Resolución 0126 del 6 febrero 2024. Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marina costera que se encuentran en el territorio nacional.* Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MADS. (06 de Febrero de 2024). Resolución No. 0126. *Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera*. Bogotá, Colombia.

MADS,Maldonado, J M. (2002). Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente Convenio Andrés Bello.

MADS; ANLA. (23 de Diciembre de 2016). Resolución 2182 de 2016. *Por la cual se modifica y consolida el Modelo de Almacenamiento Geográfico*. Colombia.

MADS; ANLA. (2016). Términos de referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Explotación Minera. Bogotá DC.

MADS; ANLA. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.* Bogotá: MADS, ANLA.

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. *Springer Science & Business Media*.

Mair, A., Hagedorn, B., Tillery, S., El-Kadi, A., Westenbroek, S., Ha, K., & Koh, G. (2013). Temporal and spatial variability of groundwater recharge on Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.015*.

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma-Oviedo, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F., Vásquez, L., & Rodríguez, C. A. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Guía de campo. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt.

Mancera K, M. P. (2017). The effects of acute exposure to mining machinery noise on the behaviour of eastern blue-tongued lizards (Tiliqua scincoides). . *Animal Welfare 26(1):*, 11-24.

Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 245-259.

Martínez Jiménez, L. D., Herrera Juárez, I., & Miquelajauregui Graf, Y. (2023). Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS. *Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS. Un programa de análisis de patrones espaciales.* UNAM.

Matlack, G.R. (1993). Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. . *Biol. Conserv. 66,*, 185-194.

MBG. (2025). *Missouri Botanical Garden*. Obtenido de http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/)

McMullan, M. (2023). *Guía de Campo de las Aves de Colombia* (Primera ed.). Bogotá, D.C.: McMullan Birding & Publishers S.A.S.

McRae B. H. (2014). *Linkage Mapper User Guide.* Washington, USA.: The Nature Conservancy.

McRae BH, K. D. (2011). *Linkage Mapper Connectivity Analysis Software.* Obtenido de The Nature Conservancy, Seattle, WA. : https://linkagemapper.org.

McRae BH. . (2012). *Pinchpoint Mapper Connectivity Analysis Software. .* Obtenido de The Nature Conservancy, Seattle, WA.: https://linkagemapper.org

MEA, M. E. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Washington, DC: Island Press.

Meteorological Organization Word, (. (2009). *Guidelines for the application of statistical methods for the detection of outliers in meteorological data.* World Meteorological Organization.

Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for Bed-Load Transport. *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research.*

Millenimun Ecosystem Assessment - MEA. (2005). *Millenimun Ecosystem Assessment.* Obtenido de https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf

MinAmbiente. (2016). *TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN MINERA.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica Para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental de explotación minera.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de la Presidencia BOE. (2005). por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. *Real decreto 9/2005*. España: Ministerio de la Presidencia BOE. Obtenido de https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-895#:~:text=A%2D2005%2D895-,Real%20Decreto%209%2F2005%2C%20de%2014%20de%20enero%2C%20por,Publicado%20en%3A&text=15%2C%20de%2018%20de%20enero,a%201843%20(11%20p%C3%A1gs.%20)

Morales-Betancourt, M. A., Lasso, C. A., Páez, V. P., & Bock., B. C. (2015). *Libro rojo de reptiles de Colombia.* Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Universidad de Antioquia.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T–Manuales y Tesis SEA*., 84 pp.

Muntohar, A. S., & Liao, H. J. (2010). Rainfall infiltration: Infinite slope model for landslides triggering by rainstorm. *Natural Hazards, 3*(54), 967–984. doi:http://doi.org/10.1007/s11069-010-9518-5

Muñoz-Pedreros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista chilena de historia natural*, 139-156. Obtenido de La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental.

Murcia C. (1995). Edge Effects in Fragmented Forests: Implications for Conservation. *Trends in ecology and evolution. 10.*, 58-62.

Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution 10 (2)*, 58-62.

Museum, N. H. (abril de 2025). PAST Version 5.2.2. Obtenido de https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/

Naranjo, L. G., Amaya, J. D., Eusse-González, D., & Cifuentes-Sarmiento, Y. (2012). *Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Aves* (Vol. I). Bogotá, D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible/ WWF Colombia.

Navarro et al. 2000. (s.f.).

Navarro., J. F. & Muñoz., J. (2000). *Manual de huellas de algunos mamíferos terrestres de Colombia (Edición curso de campo ed.).* Medellín, Colombia.

NYBG. (2025). *The New York Botanical Garden*. Obtenido de The New York Botanical Garden: https://sweetgum.nybg.org/science/

O'Callaghan, J., & Mark, D. (1984). *The extraction of drainage networks from digital elevation data.* Computer Vision, Graphics, and Image Processing.

Olivares, B. O.-B. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. . *Cuadernos de Investigación UNED, 11(2)*, 112-121.

Osorio, N. (2015). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico.* Medellín: Editorial L. Vieco.

Oviedo, L. (2020). *Variaciones de la recarga de agua subterránea bajo escenarios de cambio climático en el nivel somero del sistema acuífero bajo Cauca antioqueño [Master Thesis].* Universidad Nacional de Colombia.

Patiño, S. (2021). *Análisis hidroestructural y estimación de recarga potencial por precipitación de la dunita de Medellín, sistema acuífero del valle de Aburrá [Master Thesis].* Medellin: Universidad EAFIT.

Payán Garrido E., S. V. (2012). *Los Felinos de Colombia.* Bogotá, D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia.

Pelletier, G., & Chapra, S. (2008). *QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1): A modeling framework for simulating river an stream water quality.* Olympia, Washington: Department of Ecology.

Peña-Becerril, J. C.-A.-S.-A. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. . *TIP. Revista especializada en ciencias quimico-biologicas 8(2)*, 91-98.

Pettitt, A. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 126-135.

Pinzón Zuly V., C. A.-P. (2013). Caracterización del hábitat de tres grupos de tití gris (Saguinus leucopus) en un paisaje transformado por actividades agropecuarias en

Victoria, Caldas. En P. S.-C. Thomas Defler, *Primates Colombianos en Peligro de Extinción* (págs. 155-163). Bogotá, Colombia: Asociación Primatológica Colombiana.

Pla, L. (Agosto de 2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia, 31*(8).

Poveda K. & Sánchez P. (2004). Habitat use by the white-footed tamarin, Saguinus leucopus: a comparison between a forest-dwelling group and an urban group in Mariquita, Colombia. *Neotropical Primates, 12(1)*, 6-9.

Ralph, C. J. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. .* Albany,CA: U.S: Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Department of Agriculture, Forest Serv.

Ramírez, F., & González, A. J. (1989). *Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas. Simposio Suramericano de deslizamiento.* Paipa, Colombia.

Renjifo, L. M., Gómez, M. F., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villarreal, A. M., Kattan, G. H., Amaya-Espinel, J. D., & Burbano-Girón, J. (2014). *Libro rojo de aves de Colombia* (Vol. Volumen I: bosques húmedos de los Andes y la costa Pacífica). Bogotá D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.

Roberge J., A. P. (2004). Usefulness of the Umbrella Species Concept as a Conservation Tool. *Conservation Biology, 18.*, 76-85.

Rodríguez-Mahecha, J. V., Landazabal-Mendoza, C., & Nash, S. D. (2006). *Libro Rojo de los mamiferos de Colombia.* (J. V. Rodríguez-Mahecha, Ed.) Bogotá: Conservación Internacional Colombia.

Rouse J. H. (1973). *Monitoring vegetation system in the great plains withERTS.* USA:: 3rd ERST Symposium, NASA, 1.

Rueda-Almonacid, J. V., Lynch, J. D., & Amézquita, A. (2004). *Libro Rojo de los Anfibios de Colombia.* Bogotá, D.C., Colombia: Conservación internacional Colombia, Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia.

Ruiz, R. (2004). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectosconceptuales y metodológicos. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IAvH.* Bogotá DC: Instituto Humboldt.

S.C.S. (1964). *Hydrology, National Engineering Handbook.* Washington D.C.: Soil Conservation Service, U.S.D.A.

Saaty, T. (1980). *Analytic Hierarchy Process, AHP.* Mc Graw Hill.

Salas, J. (1993). *Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series.* D. Reidel Publishing Company.

Sánchez-Londoño Juan D., S. M. (2013). Densidad, uso de hábitat y estado de conservación de una población de Saguinus leucopus en un bosque premontano de Colombia. En S. M.-C. Thomas Defler P.R., *Primates Colombianos en Peligro de Extinción* (págs. 155-163). Bogotá D.C.: Asociación Primatológica Colombiana.

Saura S., R. L. (2010). A common currency for the diferent ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography, 33(3)*, 523-537.

Schumm, S. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological* , 10889 -1100.

Seewagen C., N.-G. J. (2023). Far-reaching displacement effects of artificial light at night in a North American bat community. *Global Ecology and Conservation 48*, 10.1101.

Serrada, R. (2003). Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*(15), 11-16.

Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa 1_25.000.* Bogota.

Servicio Geológico Colombiano SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa.* Bogotá.

SGC. (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:100.000.* Bogotá.

Shanmukha N.T., V. M. (2024). Biodiversity loss due to mining activities. En A. K. Rathoure, *Impact of societal development and infrastructure on biodiversity decline.* (págs. pp 166–191). Davangere, India: IGI Global Scientific Publishing.

Shannon G., M. M. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society, 91(4)*, 982–1005.

SHI SAS. (2025). *ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO PARA EL PROYECTO MINERO GRAMALOTE.* Medellin: GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED.

Shier D. M., B. A. (2020). Effects of artificial light at night on the foraging behavior of an endangered nocturnal mammal. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987), 263(Pt A),* , 114566. .

SIAC. (2025). *RREA (Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales)*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/siac/reaa

SiB-Colombia. (2025). *SiB Colombia, 2025*. Obtenido de https://biodiversidad.co/: https://biodiversidad.co/

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). Principles of Instrumental Analysis (7th ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-1305577217.

Smith y Wischmeier. (1978). *Predicting rainfall erosion losses.A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537.* USDA/Science and Education.

Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J. L., & Acosta, R. A. (Diciembre de 2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical, 62*(1-4).

Sonter L.J., A. S. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings Royal Society B* , 285: 20181926.

Spatial Networks, I. (2025). Fulcrum platform.

Subramanya, K. (1982). *Flow in Open Channels.* Tata McGraw-Hill.

Sunquist M.E.,Sunquist F. (2002). *Wild cats of the world.* Chicago,Illinois: University of Chicago Press.

Tardi, A., & Vittorini, S. (1977). *Il calcolo del coefficiente di deflusso su basi fisiografiche.*

Thornthwaite, C., & Mather, J. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance.* Publications in Climatology.

Timsina, S. H.-P. (2022). Tropical surface gold mining: A review of ecological impacts and restoration strategies. *Land Degradation & Development, 33(18)* , 3661–36.

Tirita, D. (1998). *Tecnicas de campo para el estudio de mamiferos silvestres.* Quito: Museo de Zoología, Centro de Biodiversidad y Ambiente.

TULSMA, T. U. (2015). *Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación Para Suelos Contaminados*. Obtenido de http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155129.pdf

U.S. Army Corps of Engineers. (1991). *Engineering and Design: Design of Pile Foundations.*

UICN. (2025). *UICN*. Obtenido de https://www.iucnredlist.org/es

UNAL. (2025). *UNAL*. Obtenido de http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/

United States Environmental Protection Agency-EPA. (1994). Method 200.8, Revision 5.4: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Cincinnati, Ohio, USA: Environmental Monitoring Systems Laboratory.

USASE, A. (2010). *HEC-RAS, versión 4.1, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers*.

USDA. (2014). Claves parala Taxonomía de Suelos . *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos/Servicio de Consrevación de Recursos Naturales* .

USDA, C. d. (2014). *Clave para Taxonomía de Suelos*. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

Valdez M, C. G., Guzmán L, M. A., Valdés G, A., Forougbakhch P, R., Alvarado V, M. A., & Rocha E, A. (Oct/Dic de 2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical, 66*(4). doi:http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32135

Vargas, M. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.* Bogotá: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente, Grupo de Recurso Hídrico.

Ventura-Heron. (1990). *Métodos para el cálculo del tiempo de concentración de cuencas.*

Villarreal, H. Á. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Al*.

Villarreal, H. Á. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad.* Bogota D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., & Umaña, A-M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de la biodiversidad.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biólogicos Alexander von Humbolt.

Water Resources, C. (1981). *Guidelines for determining flood flow frequency (Bulletin No. 17B).* Estados Unidos: U.S. Government Printing Office.

Westenbroek, S., Engott, J., Kelson, V., & Hunt, R. (2018). SWB version 2.0 — A soil-water-balance code for estimating net infiltration and other water-budget components. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods.*, doi:https://doi.org/10.3133/tm6A59.

Westenbroek, S., Kelson, V., Dripps, W., Hunt, R., & Bradbury, K. (2010). *SWB-A modified Thornthwaite-Mather Soil-Water-Balance code for estimating groundwater recharge.* U.S. Geological Survey Techniques and Methods. doi:https://doi.org/10.3133/tm6A59.

Wiesner, C. (1970). *Hydrometeorology.* London: Chapman & Hall.

Wijngaard, J., Klein Tank, A., & Können, G. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 679-692.

Wilcox, B. (1984). *In situ conservation of genetic resources:determinants of mínimum area requirements. In Nationalparks, conservation, and development.* Washington, D.C.: Miller, K.R. (Eds.) : SmithsonianInstitute Press.

Willems, J. S. (2022). Artificial light at night and anthropogenic noise alter the foraging activity and structure of vertebrate communities. . *The Science of the total environment, 805.*, 150223.

Williams-Linera, G. D.-G.-Z. (1998). Microenvironment and Floristic of Different Edges in a Fragmented Tropical Rainforest. *Conservation Biology, 12.*, 1091-1102.

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicción de pérdidas por erosión pluvial. Una guía para la planificación de la conservación. .* Manual Agrícola del USDA n.° 537, Maryland.

World Meteorological Organization (WMO). (2009). *Guide to Hydrological Practices Vol II.* Geneva: Chairperson, Publications Board.

World Meteorological Organization. (2006). *Guidelines for verifying changes in the statistical distribution of records.* World Meteorological Organization.

WSP Golder. (2022). *Site-Specific Probabilistic-Deterministic Seismic Hazard Assessment and Acceleration Time Histories.* Atlanta, Georgia, USA: Informe preparado par B2Gold y Anglo Gold Ashanti.

Yepes Quintero, A. P., Navarrete Encinales, D. A., Duque Montoya, Á. J., Phillips Bernal, J. F., Cabrera Torres, K. R., Álvarez Dávila, E., . . . Ordoñez Castro, M. F. (Julio de 2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM.

Yu, C., Zou, S., & Whittemore, A. (1993). Statistical methods for detecting outliers in data. *Journal of Statistical Analysis*, 123-135.

Zinck, J. A. (2012). *Geopedología.* Netherlands: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation.