



PLAN DE GESTION DEL RIESGO

TABLA DE CONTENIDO

10	PLANES Y PROGRAMAS	1
10.1	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	1
10.1.3	PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO.....	1
10.1.3.1	Conocimiento del riesgo	10

LISTA DE TABLAS

Tabla 10.1 Normas y acuerdos asociados a la gestión de riesgos	3
Tabla 10.2 Principales actividades del proyecto.....	14
Tabla 10.3 Valores medios mensuales de precipitación para cada estación	24
Tabla 10.4 Porcentajes de las unidades litoestratigráficas	26
Tabla 10.5 Unidades geomorfológicas para el área de influencia abiótica del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote	28
Tabla 10.6 Coberturas de la tierra en el área de influencia abiótica	31
Tabla 10.7 Proyectos de formalización minera que se interceptan con el proyecto.	39
Tabla 10.8 Calificación de amenazas	40
Tabla 10.9 Categorías de probabilidad para los eventos	41
Tabla 10.10 Matriz de calificación del Riesgo	42
Tabla 10.11 Índice de Riesgo	42
Tabla 10.12. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla	46
Tabla 10.13. Escala para evaluar los daños esperados en edificaciones y líneas vitales.....	51
Tabla 10.14. Clasificación de la vulnerabilidad para personas	52
Tabla 10.15. Zonas o escenarios de exposición	53
Tabla 10.16 Criterios para la clasificación de la exposición de los elementos ambientales y socioeconómicos.....	55
Tabla 10.17. Homologación de escalas para calificar la vulnerabilidad por exposición	56
Tabla 10.18 Criterios de niveles de riesgo por componente.....	57
Tabla 10.19 Principales factores amenazantes identificados en el departamento de Antioquia.....	60
Tabla 10.20 Reportes de amenazas en Desinventar	60
Tabla 10.21 Amenazas identificadas	61
Tabla 10.22 Identificación y clasificación de amenazas	62
Tabla 10.23 Características de los eventos sísmicos históricos fuera del área interés	67
Tabla 10.24 UHRS (5% de amortiguamiento) para las Probabilidades Anuales de Excedencia (PAE) seleccionadas en el sitio del proyecto Gramalote. El valor de Vs30 (1) usado es de 800 m/s	71

Tabla 10.25 Valores de aceleración para algunos periodos espectrales (PGA, 0,2 y 1,0 s) asociados a un periodo de retorno de 475 años de varios estudios para el sitio de la mina Gramalote	72
Tabla 10.26 Eventos identificados como posibles detonantes de una posible falla de presa	75
Tabla 10.27 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza	77
Tabla 10.28 Categorías de estabilidad geotécnica.....	77
Tabla 10.29 Calificaciones del parámetro M en el área de influencia abiótica del proyecto	79
Tabla 10.30 Valores de R en función de la pendiente y la forma del perfil de la ladera	79
Tabla 10.31 Valores del parámetro D – Pendiente y densidad de drenaje	81
Tabla 10.32 Valores del parámetro V – Vegetación	81
Tabla 10.33 Homologación coberturas vegetales vs Corine Land Cover (Parámetro V)	82
Tabla 10.34 Valores del parámetro erosión – E	82
Tabla 10.35 Valores del parámetro clima – C	83
Tabla 10.36 Valores parámetros de sismicidad – S	83
Tabla 10.37 Valores de susceptibilidad del parámetro Efectos Antrópicos.....	85
Tabla 10.38 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza, áreas.....	85
Tabla 10.39 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza - Año 2032	89
Tabla 10.40 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Año 2035.....	92
Tabla 10.41 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Año 2037.....	95
Tabla 10.42 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Escenario 2038-2041	98
Tabla 10.43 Resultados de longitud de desplazamiento.	100
Tabla 10.44 Cálculo de probabilidades para calificación de la amenaza.....	102
Tabla 10.45 Resultados obtenidos de la zonificación de la amenaza por inundación sobre el área de influencia abiótica del proyecto	114
Tabla 10.46 Niveles de amenaza por inundación según la FEMA	114
Tabla 10.47 Árbol de eventos asociado a los diferentes tipos de falla que pueden presentarse sobre el sedimentador La Colorada.....	117
Tabla 10.48 Caudales máximos en m ³ /s que podrían presentarse ante un eventual fallo por tubificación en la presa del sedimentador La Colorada (varios autores)	118
Tabla 10.49 Ponderación de factores de la clasificación morfométrica	127
Tabla 10.50 Asignación del índice de compacidad	127
Tabla 10.51 Reclasificación de la densidad de drenaje.....	128

Tabla 10.52 Reclasificación de pendientes medias.....	128
Tabla 10.53 Clasificación de la cobertura vegetal	128
Tabla 10.54 Clasificación de la geomorfología.....	128
Tabla 10.55 Clasificación del material superficial.....	129
Tabla 10.56 Clasificación de la precipitación	129
Tabla 10.57 Ponderación de factores de susceptibilidad por avenidas torrenciales	129
Tabla 10.58 Asignación del índice de amenaza por avenida torrencial	130
Tabla 10.59 Tipo de combustible predominante según la cobertura	135
Tabla 10.60 Categoría de amenaza por tipo de combustible	135
Tabla 10.61 Tipo de combustible predominante según la cobertura en el AI abiótica	136
Tabla 10.62 Categoría de amenaza por tipo de combustible según la cobertura en el AI abiótica	136
Tabla 10.63 Duración del combustible según la cobertura vegetal.....	137
Tabla 10.64 Categoría de amenaza por la duración de combustible.....	138
Tabla 10.65 Duración del combustible según la cobertura vegetal en el área de influencia abiótica	138
Tabla 10.66 Categoría de amenaza por la duración de combustible en el AI abiótica	139
Tabla 10.67 Categoría total (Biomasa) de combustible	140
Tabla 10.68 Categoría de amenaza total (Biomasa) de combustible	141
Tabla 10.69 Categoría total (Biomasa) de combustible para el área de influencia abiótica	141
Tabla 10.70 Categoría de amenaza total (Biomasa) de combustible para el área influencia abiótica	142
Tabla 10.71 Clasificación y categorización de la susceptibilidad.....	144
Tabla 10.72 Categorización de amenaza según el rango de precipitación anual ..	145
Tabla 10.73 Categorización de amenaza según el rango de temperatura anual ...	145
Tabla 10.74 Categorización de amenaza según el grado de pendiente	147
Tabla 10.75 Categorización de amenaza según la distancia red vial	149
Tabla 10.76 Categorización de la zonificación de la amenaza por incendios forestales	151
Tabla 10.77 Clasificación de los depósitos de estériles	169
Tabla 10.78 Instalaciones con potencial de generar escenarios NATECH.....	176
Tabla 10.79 Matriz de escenarios NATECH identificados para el Proyecto Minero Gramalote.	178
Tabla 10.80 Población total por unidad territorial	190

Tabla 10.81 Número de habitantes por kilómetro cuadrado en las unidades territoriales	191
Tabla 10.82 Aprovechamiento de agua en los hogares de las unidades territoriales	196
Tabla 10.83 Acceso al servicio de alcantarillado y otras formas de disposición en las unidades territoriales	197
Tabla 10.84 Acceso al servicio de energía en las unidades territoriales.....	198
Tabla 10.85 Tipo de combustible para cocinar en las unidades territoriales.....	199
Tabla 10.86 Establecimientos educativos ubicados en las unidades territoriales ..	200
Tabla 10.87 Afiliación de la población al sistema de salud.....	202
Tabla 10.88 Asistencia a centros de salud.....	203
Tabla 10.89 Escenarios deportivos, recreativos y comunitarios presentes en las unidades territoriales.....	204
Tabla 10.90 Tipo de infraestructura vial y transporte utilizado.....	208
Tabla 10.91 Escala de calificación de consecuencias.....	215
Tabla 10.92 Análisis de consecuencias ante sismos.....	217
Tabla 10.93 Análisis de consecuencias ante movimientos en masa	219
Tabla 10.94 Análisis de consecuencias ante inundaciones.....	221
Tabla 10.95 Análisis de consecuencias ante avenidas torrenciales	223
Tabla 10.96 Análisis de consecuencias ante incendios forestales	223
Tabla 10.97 Análisis de consecuencias ante orden público y social.....	224
Tabla 10.98 Análisis de consecuencias ante explosiones no controladas.....	225
Tabla 10.99 Análisis de consecuencias ante derrame de materiales peligrosos ...	226
Tabla 10.100 Análisis de consecuencias ante incendio estructural	227
Tabla 10.101 Análisis de consecuencias ante colapso estructural	228
Tabla 10.102 Análisis de consecuencias ante falla de presa de colas	228
Tabla 10.103 Análisis de consecuencias ante falla de la tubería de colas	231
Tabla 10.104 Análisis de consecuencias ante un derrumbe de taludes de los depósitos y tajo	232
Tabla 10.105 Análisis de consecuencias ante una emergencia sanitaria	232
Tabla 10.106 Análisis de consecuencias ante accidentes de vehículos de carga .	233
Tabla 10.107 Categorías de probabilidad para los eventos	235
Tabla 10.108 Análisis de probabilidad para los escenarios de riesgo	235
Tabla 10.109 Evaluación del riesgo	241
Tabla 10.110 Jerarquización del riesgo	244

Tabla 10.111 Criterios de valoración del riesgo ambiental	246
Tabla 10.112 Categorías de aceptabilidad del riesgo socioeconómico	249
Tabla 10.113 Criterios metodológicos para la valoración cualitativa del riesgo individual	252
Tabla 10.114 Localización de la instrumentación y sistemas de monitoreo por tipo de obra y etapa del proyecto-Obras Objeto de modificación	256
Tabla 10.115 Parámetros de monitoreo para el sistema de manejo de relaves	264
Tabla 10.116 Criterios para la calificación integral del estado de alerta	273
Tabla 10.117 Frecuencias recomendadas de monitoreo e inspección por nivel de alerta	275
Tabla 10.121 Medidas de reducción del riesgo transversales ante amenazas identificadas	279
Tabla 10.122 Relación nivel de alerta y SAT	282
Tabla 10.123 Mecanismos de articulación del SAT	283
Tabla 10.124 Actividades de divulgación del SAT	284
Tabla 10.125 mecanismos de notificación	285
Tabla 10.126 Medidas de reducción del riesgo ante amenazas de origen natural y socio naturales	289
Tabla 10.127 medidas de reducción del riesgo ante amenazas de origen antrópico	296
Tabla 10.128 Medidas de reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico	298
Tabla 10.129 Roles y responsabilidades Equipo de Manejo de Crisis - CMT	312
Tabla 10.130 Roles y responsabilidades del equipo de manejo de Emergencias - EMT	314
Tabla 10.131 Roles y responsabilidades del equipo de respuesta a emergencias - ERT	316
Tabla 10.132 Programas de entrenamiento y capacitación del personal	321
Tabla 10.133 Frecuencia de entrenamientos y simulacros de los equipos de manejo de crisis y emergencias	323
Tabla 10.134 Niveles de alerta en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	325
Tabla 10.135 Niveles de activación de alarma	326
Tabla 10.136 Integración del Equipo Técnico de Evaluación y Recuperación (ETER)	338
Tabla 10.137 Etapas de la metodología de evaluación postevento	340
Tabla 10.138 Relación entre la evaluación del daño y la planificación de la recuperación	341

Tabla 10.139 Estrategias de restablecimiento según el componente afectado	344
Tabla 10.140 Procedimientos de Comunicación	349
Tabla 10.141 Contacto de actores externos de la gestión del riesgo.	350
Tabla 10.142 Equipamientos para la atención de emergencias	351

LISTA DE FIGURAS

Figura 10.1 Localización general	11
Figura 10.2 Localización de cuencas dentro del área de Influencia.	22
Figura 10.3 Cuerpo léntico en el área de influencia	24
Figura 10.4 Ciclos característicos de la precipitación para cada estación	25
Figura 10.5 Geología local de la zona del Proyecto Gramalote.....	26
Figura 10.6 Unidades geomorfológicas en el área de influencia de la modificación de la licencia ambiental del Gramalote.....	30
Figura 10.7 Coberturas de la tierra en el área de influencia abiótica.....	32
Figura 10.8 Ramal de conexión de la central de generación térmica desde el Sistema Interconectado Nacional.....	37
Figura 10.9 Redes eléctricas y Central Hidroeléctrica La Cascada, interceptadas por el proyecto.	38
Figura 10.10 Proyectos de formalización minera que se interceptan con el proyecto.....	40
Figura 10.11. Evaluación de la amenaza según SGC en términos de probabilidad de falla anual para estudios en escala detallada 1:2000	45
Figura 10.12. Concepto geométrico para la aplicación del método de Hunter y Fell 2003.....	47
Figura 10.13. Concepto geométrico para la aplicación del método del bloque deslizante.....	49
Figura 10.14. Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento	53
Figura 10.15 Definición del área de análisis del Riesgo	59
Figura 10.16 Configuración tectónica y terremotos históricos más importantes	65
Figura 10.17 Secciones transversales esquemáticas que ilustran las principales características tectónicas y los hipocentros de los sismos históricos	65
Figura 10.18 Análisis localizado en la mina Gramalote	66
Figura 10.19 Mapa de intensidades EMS-98 para el sismo histórico del 10 de abril de 1911, con área epicentral en Yarumal, Antioquia. El epicentro de este evento se localizó al NW de la mina Gramalote	68
Figura 10.20 Curvas de amenaza media (5% de amortiguamiento) para los periodos espectrales seleccionados en el sitio de la mina Gramalote. El valor de Vs30 usado es de 800 m/s.....	70
Figura 10.21 Espectros de Respuesta de Amenaza Uniforme (UHRS) (5% de amortiguamiento) en el sitio de la mina Gramalote. El valor de Vs30 usado es de 800 m/s	70

Figura 10.22 Amenaza sísmica.....	73
Figura 10.23 Valores de calificación para el parámetro M (En el recuadro rojo se presentan los pesos asignados a los materiales del área de estudio)	78
Figura 10.24 Clases del terreno de acuerdo con el perfil de las superficies (índice de curvatura: Cóncavo, rectilíneo y convexo) y las pendientes	80
Figura 10.25 Efectos de la acción del hombre en la producción de deslizamientos	84
Figura 10.26 Amenaza ante movimientos en masa	86
Figura 10.27 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2032.....	88
Figura 10.28 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2032. .	88
Figura 10.29 Perfil generalizado en la Zona de del tajo Gramalote para el año 2032.	89
Figura 10.30 Amenaza ante movimientos en masa año 2032	90
Figura 10.31 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2035.....	91
Figura 10.32 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2035. .	91
Figura 10.33 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote para el año 2035.	92
Figura 10.34 Amenaza ante movimientos en masa año 2035	93
Figura 10.35 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2037.....	94
Figura 10.36 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2037. .	94
Figura 10.37 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote para el año 2037.	95
Figura 10.38 Amenaza ante movimientos en masa año 2037	96
Figura 10.39 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal – Escenario 2038-2041	97
Figura 10.40 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio – Escenario 2038-2041	97
Figura 10.41 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote– Escenario 2038-2041	98
Figura 10.42 Amenaza ante movimientos en masa escenario 2038-2041.....	99
Figura 10.43 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito R, a partir de la Ortofoto del EIA, 2025	104
Figura 10.44 Vulnerabilidad ambiental y Socioeconómica de los elementos expuestos asociados a la falla del Depósito R	106
Figura 10.45 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito R, a partir de la cartografía derivada del modelo digital de terreno	107
Figura 10.46 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito El Torito, a partir de la Ortofoto del EIA, 2025	109
Figura 10.47 Vulnerabilidad ambiental y Socioeconómica de los elementos expuestos asociados a la falla en el Depósito El Torito.....	111

Figura 10.48 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito El Torito, a partir de la cartografía derivada del modelo digital de terreno	112
Figura 10.49 Amenaza ante inundaciones sobre el área de influencia abiótica.....	115
Figura 10.50 Detalle de la amenaza ante inundaciones sobre la población de Providencia	116
Figura 10.51 Manchas de inundación valoradas para la línea base del proyecto (Tr=2,33 años, Tr=100 años, Tr=1.000 años y CMP)	121
Figura 10.52 Mancha de inundación para el caso de rompimiento de presa del sedimentador La Colorada	122
Figura 10.53 Zonificación de la amenaza por inundación ante el rompimiento de presa del sedimentador La Colorada	123
Figura 10.54 Detalle sobre la población de providencia de la zonificación de la amenaza por inundación ante el rompimiento de presa del sedimentador La Colorada	124
Figura 10.55 Mapa de susceptibilidad por Avenidas Torrenciales.....	126
Figura 10.56 Metodología para el análisis de la amenaza por avenidas torrenciales	127
Figura 10.57 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales en la zona de estudio	131
Figura 10.58 Esquema metodológico para la determinación de la susceptibilidad de incendios forestales	133
Figura 10.59 Amenaza según tipo de combustible en el área de influencia abiótica	137
Figura 10.60 Amenaza según la duración del combustible en el área de influencia abiótica	140
Figura 10.61 Amenaza según de la carga (Biomasa) de combustible en el AI abiótica	143
Figura 10.62 Mapa de susceptibilidad de la vegetación de incendios	144
Figura 10.63 Amenaza según el rango de precipitación anual	146
Figura 10.64 Amenaza según el rango de temperatura anual.....	147
Figura 10.65 Amenaza según el grado de pendiente	148
Figura 10.66 Amenaza según el factor histórico	149
Figura 10.67 Amenaza según la distancia a la red vial	150
Figura 10.68 Mapa de amenaza ante incendios forestales	152
Figura 10.69 Amenaza ante orden público y social	154
Figura 10.70 Amenaza ante explosiones no controladas	158
Figura 10.71 Amenaza ante derrame de materiales peligrosos	160
Figura 10.72 Amenaza ante incendio estructural	162
Figura 10.73 Amenaza ante colapso estructural	163

Figura 10.74 Amenaza ante Falla de la presa de Colas	166
Figura 10.75 Amenaza ante falla de la tubería de colas.....	168
Figura 10.76 Amenaza ante emergencia sanitaria	172
Figura 10.77 Amenaza ante accidentes de vehículos de carga	174
Figura 10.78 Características de los escenarios Natech.	175
Figura 10.79 Proyección de temperatura a 2040 para el municipio de San Roque	186
Figura 10.80 Proyección de precipitación a 2040 para el municipio de San Roque	187
Figura 10.81 Pirámide poblacional, 2025	189
Figura 10.82 Unidades territoriales del AI abiótica	192
Figura 10.83 Elementos expuestos del componente personas	193
Figura 10.84 Elementos expuestos del componente ambiental	195
Figura 10.85 Elementos expuestos del componente socioeconómico	213
Figura 10.86 Riesgo ambiental	247
Figura 10.87 Riesgo Socioeconómico.....	251
Figura 10.88 Riesgo individual	254
Figura 10.89 Arquitectura integrada del Sistema de Alerta Temprana	280
Figura 10.90 Flujo operativo del Sistema de Alerta Temprana.....	281
Figura 10.91 Equipo de respuesta ante emergencias	312
Figura 10.92 Niveles de consecuencias y activación de los equipos de emergencia	330
Figura 10.93 Activación y Notificación General de Emergencias.....	349
Figura 10.94 Canales de notificación de emergencias	350

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 10.1.3.1 Probabilidad de los eventos.....	41
Ecuación 10.1.3.2 Probabilidad de falla anual de un talud	44
Ecuación 10.1.3.3 Probabilidad de falla de un talud en toda la vida útil	44
Ecuación 10.1.3.4 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (forma general).....	47
Ecuación 10.1.3.5 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos sin confinar)	48
Ecuación 10.1.3.6 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos parcialmente confinados)	48
Ecuación 10.1.3.7 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos confinados)	48
Ecuación 10.1.3.8 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos en depósitos de minería grueso granulares con diferentes tipos de movilidad).....	48
$Mg \sin \beta - Mg \cos \beta \tan \phi = Ma(t)$ de A hasta B – $Mg \tan \phi p = Ma(t)$ de B hasta C Ecuación 10.1.3.9 Relación de leyes de Newton (Yue, 2014)	49
$V_{AB} = 2Hg \tan \phi \tan \beta$ Ecuación 10.1.3.10 Velocidad desarrollada por la maza mientras baja por el tramo A-B.....	49
$d = 1 \tan \phi \tan \beta H \tan \phi p$ Ecuación 10.1.3.11 Distancia de viaje desde el punto B	50
Ecuación 10.1.3.12 Angulo de viaje desde el punto A hasta el punto C	50
Ecuación 10.1.3.13 Velocidad desarrollada por la masa en el tramo B-C	50
Ecuación 10.1.3.14 Calificación de estabilidad	78
Ecuación 10.1.3.15 Densidad de drenaje.....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo_PGR_Valoracion_Riesgos
Anexo_PGR_Reporte_Desinventar
Anexo_PGR_I-I-10719-ROMPPRESACOLORADA-00-V
Anexo_PGR_Analisis_Rotura_Presa_DesvGuacas
Anexo_PGR_Riesgo_Tecnológico
Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas
Anexo_PGR_Manual_Señalización
Anexo_PGR_Plan_Emergencia_SITE
Anexo_PGR_Manual_Gestion_Crisis
Anexo_PGR_Plan_de_Ayuda_Mutua
Anexo_PGR_Simulacros
Anexo_PGR_Guias_Tacticas
Anexo_PGR_PONs
[Anexo_PGR_GC-SST-FT-316_BitacoraMonitoreo](#)
[Anexo_PGR_GC-SST-FT-317_Ficha_Tecnica](#)

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

ATENCION A REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ADICIONAL ACTA 30 DE 30 DE JUNIO DE 2026

10 PLANES Y PROGRAMAS

10.1 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

10.1.3 PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO

La Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres normalizada por la Ley 1523 de 2012 establece la responsabilidad compartida y los lineamientos de la política de corresponsabilidad pública, privada y comunitaria en la Gestión del Riesgo de Desastres, es decir que el ejercicio de la gestión del riesgo de desastres es colaborativo y participativo. La ley 1523 define la gestión del riesgo de desastres como: “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” (Ley 1523, 2012).

Los objetivos del Plan de Gestión del Riesgo se definieron teniendo en cuenta el marco normativo establecido en la Ley 1523 de 2012, mediante la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se organiza el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; el Decreto 2157 de 2017, que establece las directrices generales para la elaboración de los planes de gestión del riesgo de desastres de entidades públicas y privadas conforme al artículo 42 de la Ley 1523 de 2012; los Términos de Referencia TdR 13 para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de Proyectos de Explotación Minera; los términos de referencia TdR de la Metodología General Para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales; el decreto 1868 de 2021; así como las políticas y procedimientos corporativos de Gramalote Colombia Limited (GCL).

Es importante destacar que el presente Plan de Gestión del Riesgo se actualiza en el marco del proceso de Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Esta actualización, que atiende el requerimiento de la del decreto 2157 de 2017, a según la cual los planes de gestión del riesgo deben someterse periódicamente a actualización, no solo revisa y ajusta los análisis existentes, sino que integra los escenarios de riesgo asociados a las obras y actividades objeto de modificación, garantizando que las nuevas condiciones del proyecto sean evaluadas de manera integral.

Asimismo, se conservan y mantienen vigentes los análisis y lineamientos contenidos en el documento PGR_01_V1, previamente aprobado bajo la licencia ambiental vigente, en aquellos aspectos que no experimentan cambios (obras no objeto de modificación). De esta manera, el plan actualizado presenta continuidad técnica y una gestión del riesgo alineada con la evolución del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y con los lineamientos exigidos por la autoridad ambiental.

El PGR requiere identificar las amenazas que puedan materializarse durante el desarrollo de las obras, actividades y fases de operación del Proyecto, las cuales podrían generar daños o pérdidas sobre las personas, los bienes materiales, los recursos socioeconómicos y/o el medio ambiente dentro del área de influencia. El propósito de esta identificación es establecer lineamientos claros para prevenir, atender y controlar de manera adecuada y eficaz cualquier contingencia.

La metodología de evaluación de riesgos consiste en clasificar las amenazas exógenas y endógenas en diferentes escenarios posibles y asignarles una calificación a partir de análisis cualitativos cuantitativa basada en la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias del evento no deseado. Con esta clasificación se jerarquizan los riesgos y se determinan las acciones y lineamientos necesarios para prevenir, atender y controlar de manera eficaz la materialización de los escenarios priorizados, evitando la generación de nuevas condiciones de vulnerabilidad, reduciendo los riesgos existentes y promoviendo la recuperación del entorno a condiciones normales.

El Plan de Gestión del Riesgo se estructura en tres ejes fundamentales para su adecuada formulación y ejecución:

1. **Conocimiento del riesgo**, que comprende: la identificación de amenazas, el análisis de escenarios de riesgo, las áreas afectadas, los elementos vulnerables y la valoración del riesgo;
2. **Reducción del riesgo**, donde se plantean las medidas de prevención y mitigación destinadas a disminuir la amenaza, la exposición y/o la vulnerabilidad; y el
3. **Manejo de la contingencia**, en el cual se establecen las medidas de prevención, control y atención ante la eventual materialización de una situación de emergencia.

A. Objetivos del plan

Actualizar el Plan de Gestión del Riesgo (PGR) para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, con el fin de responder de manera efectiva a los riesgos identificados en el área de influencia durante las diferentes etapas del proyecto, mediante acciones de prevención, preparación y atención que garanticen la protección de la vida humana, los recursos naturales, los bienes y la infraestructura potencialmente afectados por emergencias generadas o agravadas por la ejecución del proyecto.

B. Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar los riesgos potenciales asociados al Proyecto Gramalote que puedan generar o agravar situaciones de emergencia, jerarquizándolos según su probabilidad y nivel de afectación sobre las personas, el ambiente, los bienes y la infraestructura.

- Identificar y cartografiar las áreas de riesgo derivadas de incidentes potenciales asociados a las distintas actividades y etapas del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.
- Definir y articular la estructura organizacional para la gestión del riesgo, estableciendo el personal, las responsabilidades, los roles y los recursos necesarios, en concordancia con el marco normativo vigente y las políticas corporativas de GCL.
- Establecer un plan para la reducción del riesgo, donde se plantean las medidas de prevención y mitigación destinadas a disminuir la amenaza, la exposición y/o la vulnerabilidad.
- Establecer el plan de manejo de emergencias, incluyendo procedimientos, protocolos y medidas de prevención, respuesta y control que permitan reducir las consecuencias de una emergencia y asegurar una reacción oportuna y eficaz ante los riesgos identificados.
- Diseñar el plan de formación y entrenamiento dirigido al personal vinculado al Proyecto y a las comunidades del área de influencia, con el fin de fortalecer sus capacidades de prevención, preparación y respuesta ante emergencias.
- Proponer estrategias de recuperación y rehabilitación post-emergencia, orientadas a restablecer las condiciones del entorno y minimizar los impactos negativos de eventos catastróficos generados o agravados por el Proyecto.
- Establecer los mecanismos de información, sensibilización y capacitación comunitaria sobre las emergencias potenciales durante las distintas etapas del Proyecto, así como las medidas de autoprotección, prevención y atención que deben adoptarse.
- Identificar los recursos humanos, técnicos y logísticos necesarios y definir la organización requerida por GCL para garantizar una atención eficaz ante una potencial emergencia.

C. Marco legal

A continuación, en la Tabla 10.1 se presenta una recopilación de las principales normas, lineamientos y acuerdos nacionales e internacionales relacionados con la gestión del riesgo de desastres. Este marco regulatorio constituye la base para la formulación, implementación y seguimiento del Plan de Gestión del Riesgo, garantizando que las acciones y medidas adoptadas se encuentren alineadas con los estándares vigentes y respondan a las obligaciones legales y buenas prácticas reconocidas a nivel global.

Tabla 10.1 Normas y acuerdos asociados a la gestión de riesgos

Norma	Expediente	Descripción
Decreto 2811 de 1974	Presidencia de la República de Colombia	"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"
Decreto 1541 de 1978	Presidencia de la República de Colombia	Establece los procedimientos para la utilización de los recursos hídricos.
Ley 9 de 1979	Congreso de Colombia	"Por la cual se dictan Medidas Sanitarias" para la protección del ambiente.

Norma	Expediente	Descripción
Resolución 2400 de 1979	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	"Por lo cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo".
Ley 46 de 1988	Congreso de Colombia	"Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al presidente de la República y se dictan otras disposiciones"
Ley 164 de 1994	Congreso de Colombia	"Por medio de la cual se aprueba la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático"
Decreto Ley 1295 de 1994	Ministerio de Gobierno de la República de Colombia	"Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales".
Decreto 1772 de 1994	Presidencia de la República de Colombia	Reglamenta la afiliación y las cotizaciones al sistema de riesgos profesionales.
Decreto 969 de 1995	Presidencia de la República de Colombia	Organiza la Red Nacional de Centros de Reserva para la Atención de Emergencias.
Ley 388 de 1997	Congreso de Colombia	Establece los Instrumentos de Ordenamiento Territorial y considera la prevención de amenazas y riesgos naturales.
Decreto 2340 de 1997	Presidencia de la República de Colombia	Se dictan medidas para la organización en materia de prevención y mitigación en incendios forestales.
Decreto 93 de 1998	Presidencia de la República de Colombia	"Por el cual se organizó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres".
Ley 629 de 2000	Congreso de Colombia	"Por medio de la cual se aprueba el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático".
Decreto 1609 de 2002	Presidencia de la República de Colombia	"Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera"

Norma	Expediente	Descripción
Resolución 1402 de 2007	Ministerio de la Protección Social	Reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo.
Resolución 1121 de 2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por la cual se crea el Comité para la Gestión del Riesgo del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial”.
Conpes 3700 de 2011	Departamento Nacional de Planeación	“Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia”.
Ley 1523 de 2012	Congreso de Colombia	“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 1505 de 2012	Congreso de Colombia	“Por medio de la cual se crea el Subsistema Nacional de Voluntarios de Primera Respuesta y se otorgan estímulos a los voluntarios de la Defensa Civil, de los Cuerpos de Bomberos de Colombia y de la Cruz Roja Colombiana y se dictan otras disposiciones en materia de voluntariado en primera respuesta.”
Resolución 1514 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Adopta los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos.
Ley 1575 de 2012	Congreso de Colombia	“Por medio de la cual se establece la ley general de Bomberos de Colombia”.
Resolución 1770 de 2013	UNGRD, Ministerio del Interior y Justicia	“Por el cual se crea la Comisión Técnica Nacional Asesora de Riesgos Tecnológicos - CNARIT”.
Resolución 256 de 2014	Director Nacional de Bomberos	“Por medio de la cual se reglamenta la conformación, capacitación y entrenamiento para las brigadas contra incendios de los sectores energético, industrial, petrolero, minero, portuario,

Norma	Expede	Descripción
		comercial y similar en Colombia”.
Resolución 0358 de 2014	Director Nacional de Bomberos	“Por medio del cual se adopta como procedimiento operativo para los cuerpos de bomberos el modelo organizacional del sistema de comando de incidentes”
Decreto 1076 de 2015	Presidencia de la República de Colombia	“Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.”
Decreto 2220 de 2015	Presidencia de la República de Colombia	"Por el cual se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con las licencias y permisos ambientales para Proyectos de Interés Nacional y Estratégicos (PINE)".
Decreto 2434 de 2015	Presidencia de la República de Colombia	“Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; 1078 de 2015, para crearse el Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias como parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres”.
Decreto 308 de 2016	Presidencia de la República de Colombia	“Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres”.
CONPES 3868 de 2016	Departamento Nacional de Planeación	“Política de gestión del riesgo asociado al uso de sustancias químicas”.
Decreto 298 de 2016	Presidencia de la República de Colombia	Establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático – SISCLIMA.
Resolución 4998 de 2016	Ministerio de Transporte	“Por el cual se crea el Comité Sectorial de Transporte para la Gestión del Riesgo de Desastre”.
Resolución 1767 de 2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución mediante la cual se adopta el formato único para el reporte de las contingencias.
Decreto 2157 de 2017	Presidencia de la República de Colombia	"Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las

Norma	Expede	Descripción
		entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012".
Resolución 1209 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adoptan Términos de Referencia para la elaboración de los planes de contingencia para el transporte de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas.
Resolución 1486 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Aplica para el reporte de cualquier contingencia ambiental que se presente en proyectos que no requieran licencia ambiental.
Decreto 1868 de 2021	Presidencia de la República de Colombia	"Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia frente a pérdidas de contención de hidrocarburos y otras sustancias peligrosas y se adiciona el Capítulo 7 al Título 1 de la Parte 3 del Libro 2 del Decreto 1081 del 2015, Decreto Reglamentario del Sector Presidencia de la República".
Resolución 312 de 2019	Ministerio de Trabajo	"Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST".
Decreto 1347 de 2021	Ministerio del Trabajo	"Por el cual se adopta el Programa de Prevención de Accidentes Mayores y se toman otras determinaciones".
Resolución 559 de 2022	Unidad Nacional Para La Gestión del Riesgo de Desastres	"Por la cual se adoptan valores nacionales de riesgo máximo individual accidental para instalaciones fijas y en especial las instalaciones fijas clasificadas de acuerdo al Decreto 1347 de 2021 y se dictan otras disposiciones".
Decreto 0978 de 2024	Presidencia de la República de Colombia	"Por medio del cual se adopta la segunda actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, y se dictan otras disposiciones".
Ley 2474 de 2025	Congreso de Colombia	"Mediante la cual se modifica la Ley 1523 de 2012, reconociendo e incluyendo a los animales dentro de la

Norma	Expediente	Descripción
		política de gestión de riesgos de desastre y se dictan otras disposiciones”.
Ley 2476 de 2025	Congreso de Colombia	“Por medio del cual se fortalece la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo en Colombia a través de ciudades y centros urbanos verdes, biodiversos y resilientes (Ley de Ciudades Verdes)”
Marco de acción de Hyogo para 2005-2015	Naciones Unidas	Plan mundial para la reducción del riesgo de desastres con un plan decenal, aprobado por 168 Estados.
Norma ISO 31000:2018	Organización Internacional de Normalización	Es un estándar de origen internacional desarrollado por ISO y, que proporciona los principios y directrices para la Gestión de Riesgos.
NFPA 30	National Fire Protection Association (NFPA)	“Código de líquidos inflamables y combustibles”.

Fuente: Integral S.A., 2025

D. Alcance

El Plan de Gestión del Riesgo aborda la identificación y evaluación de los eventos que podrían ocurrir a producto de la modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, ya sea derivados de sus propias actividades o de factores externos que puedan intensificarse debido a las obras y operaciones del proyecto.

Para valorar el impacto potencial de estas emergencias, se consideran elementos clave como las comunidades dentro del área de influencia que podrían resultar afectadas, el personal vinculado al proyecto, los componentes ambientales y la infraestructura susceptible de daño, ya sea comunitaria, de terceros o propia del proyecto.

El PGR evalúa las amenazas asociadas a las obras objeto de modificación y las obras nuevas y los riesgos asociados a la modificación; hace una revisión sobre las amenazas asociadas a las obras no objeto de modificación y elimina toda recomendación o acción de prevención o atención asociadas a las obras que ya no se ejecutarán.

E. Conceptos preliminares

Para facilitar la comprensión del Plan de Gestión del Riesgo se presenta, a continuación, el significado de los principales términos empleados en el presente estudio, de acuerdo con la Ley 1523 de 2012.

Amenaza: 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.

Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

Conocimiento del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia de este que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

Emergencia: situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia de este, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

Exposición (elementos expuestos): Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, 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.

Manejo de desastres: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación post desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

Mitigación del riesgo: Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las

personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

10.1.3.1 Conocimiento del riesgo

El componente de conocimiento del riesgo provee la base temática para desarrollar los procesos de reducción del riesgo y de manejo del desastre. El contenido de esta sección incluye la identificación de los elementos expuestos presentes en el área de influencia, la identificación de amenazas naturales, socio naturales, antrópicas y operacionales, el análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos y el análisis del riesgo.

Como parte de la gestión del riesgo es necesario que exista un proceso de conocimiento de este, como lo establece la Ley 1523 del 2012, la gestión del riesgo inicia en el conocimiento y entendimiento de los escenarios de riesgo y los elementos expuestos ante estos escenarios para que se realice un planteamiento más acertado de medidas de reducción y estrategias de atención de la emergencia.

10.1.3.1.1 Contexto Interno

El Contexto Interno describe las características organizacionales, operativas y administrativas de Gramalote en el marco de la Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, que influyen en la identificación, evaluación y manejo de los riesgos. Esta sección permite comprender las capacidades institucionales, los procesos internos, la estructura organizacional, los recursos disponibles y las dinámicas propias del proyecto que determinan cómo se previenen, atienden y controlan las emergencias dentro de su ámbito de operación.

A. Información general de la actividad

La Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote comprende la ejecución de labores orientadas a la extracción de oro, plata y otros minerales presentes en el yacimiento, así como los procesos de beneficio relacionados, dentro del área otorgada mediante el Contrato Único de Concesión T14292011.

Para esta modificación se estableció que la explotación se llevará a cabo el mismo esquema de explotación en el que solo se empleará el tajo a cielo abierto (conocido como Tajo Gramalote), método que resulta adecuado dada la forma del depósito mineral y su cercanía a la superficie. Esta opción posibilita un control eficiente de los materiales a remover y permite operar con la maquinaria minera proyectada para el desarrollo del proyecto.

Las actividades operativas se estructurarán en ciclos que inician con perforación y voladuras, seguidos por el cargue y transporte del material con equipos de alta capacidad. Excavadoras y cargadores frontales asumirán el cargue hacia camiones de acarreo, que trasladarán el mineral hacia la planta de procesamiento, las áreas de almacenamiento temporal o los depósitos de estériles, según el tipo de material extraído. Para apoyar estas labores se emplearán bulldozers, motoniveladoras y vehículos de servicio destinados a la adecuación y mantenimiento de vías, el empuje de material y otras tareas de soporte.

Gramalote, como empresa titular del proyecto, será responsable de ejecutar directamente las fases esenciales de extracción y beneficio, desde la remoción del mineral hasta su tratamiento en la planta optimizada para la recuperación de sulfuros.

B. Localización general

El proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se ubica en el nordeste del departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de San Roque, Colombia. El área del proyecto se encuentra aproximadamente a 100 km por carretera al nororiente de Medellín y a 400 km por carretera al noroccidente de Bogotá. Las zonas objeto de modificación comprenden las veredas Guacas Abajo, Peñas Azules, La María, La Linda, El Diluvio, Manizales y centro poblado del corregimiento de Providencia en el municipio de San Roque. En la Figura 10.1 se ilustra la localización general del proyecto.

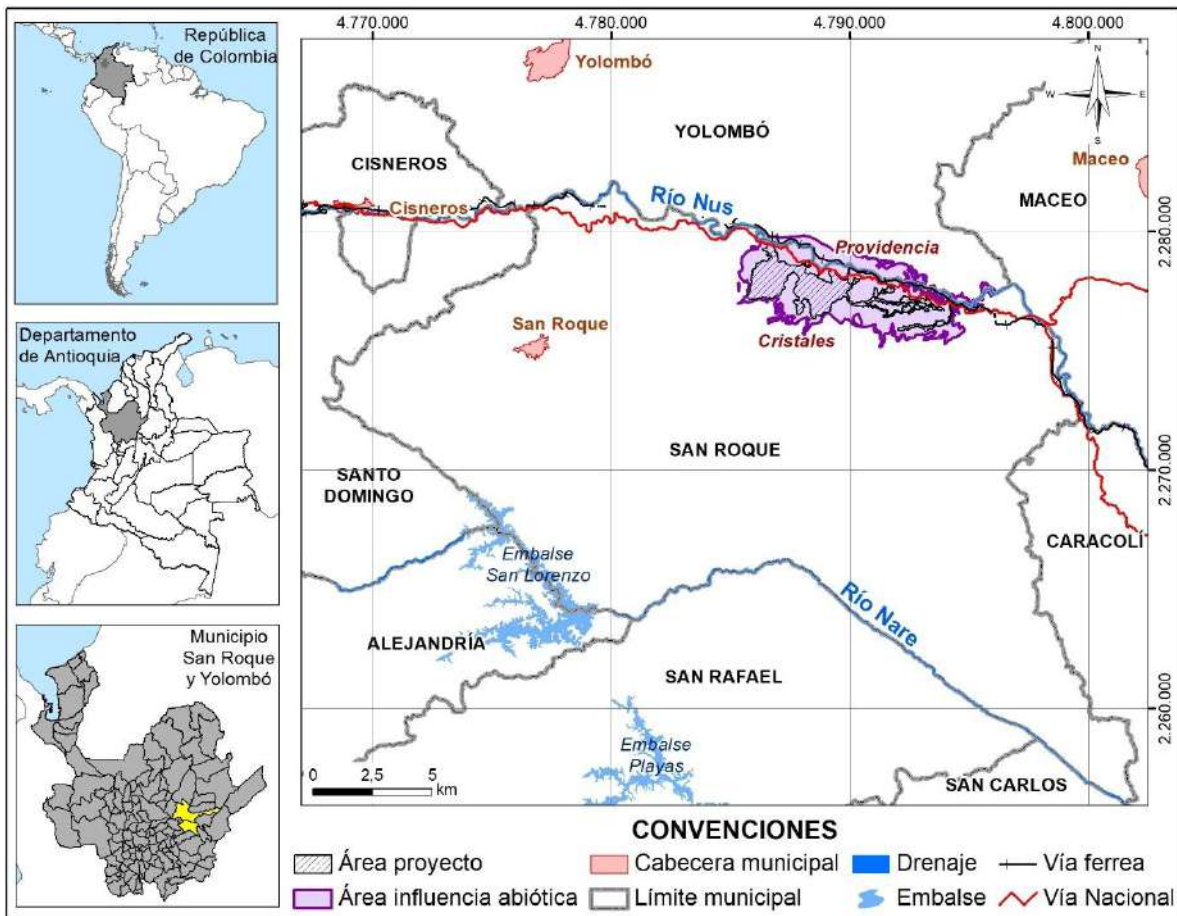


Figura 10.1 Localización general

Fuente: Integral S.A., 2025

C. Estructura organizacional

La estructura organizacional actual de Gramalote Colombia Limited se fortalecerá a medida que el proyecto se ejecuta, incluyendo un grupo de Proyectos y Construcción. Gramalote

contará con empleados nacionales y algunos extranjeros que facilitarán la transferencia de experiencia y conocimiento.

Vivir los valores es la base para definir las tareas más importantes, razón por la que en Gramalote es importante tratar a los demás con respeto. La Empresa ha implantado un sistema organizacional que se orienta a la vinculación del personal con el talento necesario, con el objetivo de hacer negocios con eficiencia, competitividad, creatividad, confianza y satisfacción en el trabajo.

La organización requerida se basa en dos principios fundamentales: primero, todas las personas vienen a trabajar para hacer lo mejor posible y, segundo, todas las políticas, procedimientos y prácticas se basan en la confianza mutua. Nuestra estructura organizacional incluye varios niveles de asignación de responsabilidades, roles y asignación de autoridades.

Un relacionamiento claro entre los empleados de una organización permite que trabajen de manera constructiva, responsable y efectiva. Para ello, Gramalote Colombia Limited hace énfasis en el diseño organizacional, en la planificación del recurso humano, el reclutamiento, la selección e inducción, en la gestión del rendimiento de cada empleado, la compensación y el gerenciamiento del talento humano desde su desarrollo humano y técnico (capacitación, formación y entrenamiento).

Un requisito fundamental para lograr este desarrollo se basa en que todas las políticas, procedimientos y prácticas de gestión deben inducir confianza. La inducción de confianza no significa estar de acuerdo con todas las decisiones de sus superiores, sino lograr los resultados esperados mediante un trato justo de la gente, asegurando la eficiencia y eficacia para conseguir que el trabajo se lleve a cabo de la mejor forma posible.

Gramalote Colombia Limited considera todas las políticas como una declaración de alto nivel que refleja las creencias de la organización, que serán utilizadas como base para la elaboración de normas, procedimientos y directrices más detalladas.

Los valores de Gramalote orientan nuestros comportamientos y decisiones. Actuamos de manera justa, respetuosa, transparente y responsable, promoviendo relaciones basadas en la confianza mutua y facilitando que cada empleado contribuya al éxito compartido. Asimismo, estamos comprometidos con la seguridad y la salud de nuestros empleados y de las comunidades donde operamos, así como de nuestros contratistas, subcontratistas, proveedores y visitantes. Por esta razón, ninguna actividad será iniciada ni ejecutada si no puede realizarse de manera segura.

D. Políticas, objetivos y estrategias

Gramalote Colombia Limited, empresa de propiedad de B2Gold Corp., desarrolla sus operaciones en Colombia bajo estándares internacionales de sostenibilidad, ética y responsabilidad social. Su gestión se rige por el Sistema de Gestión del Desempeño Social (SGS) de B2Gold, el cual establece las directrices y requerimientos corporativos para alcanzar un desempeño socialmente responsable y garantizar la mejora continua en la relación con los grupos de interés.

El SGS se aplica a todas las etapas del ciclo minero desde la exploración hasta el cierre e integra políticas, estándares y procedimientos que orientan la actuación social y ambiental

de la Compañía, así como la de sus contratistas y aliados. Este sistema se fundamenta en ocho Estándares de Desempeño Social, que reflejan las mejores prácticas internacionales y los compromisos corporativos en materia de derechos humanos, participación, desarrollo comunitario y sostenibilidad:

1. Relacionamento con actores: garantiza el diálogo abierto, respetuoso y permanente con las comunidades y partes interesadas.
2. Gestión de quejas comunitarias: establece un mecanismo formal, accesible y transparente para la recepción, evaluación y respuesta de reclamaciones e inquietudes.
3. Inversión comunitaria: orienta las contribuciones voluntarias y para mitigación de impactos de la empresa hacia el fortalecimiento de capacidades locales y el desarrollo sostenible en salud, educación y medios de vida.
4. Reasentamiento y acceso a tierras: promueve la prevención del desplazamiento involuntario y, cuando es inevitable, asegura que los procesos se desarrollen bajo los principios de equidad, restauración de medios de vida y consulta informada.
5. Contenido local: fomenta el empleo y desarrollo de proveedores locales, la contratación de bienes y servicios locales, fortaleciendo el desarrollo económico en las comunidades de influencia.
6. Derechos humanos: establece lineamientos para prevenir impactos adversos y garantizar el respeto de los derechos fundamentales en todas las relaciones de negocio.
7. Minería artesanal y de pequeña escala: define estrategias de interacción responsable con mineros artesanales, priorizando el diálogo, la formalización y la reducción de conflictos.
8. Cierre social: asegura una transición responsable al cierre de operaciones, dejando un legado social positivo y mitigando impactos económicos o comunitarios.

Estas políticas y estándares están alineados con la Política de Responsabilidad Social de B2Gold, que compromete a la compañía a:

- Respetar los derechos humanos y las culturas locales.
- Evitar, mitigar y compensar los impactos negativos.
- Promover el desarrollo comunitario sostenible.
- Garantizar la transparencia, la participación y el acceso a mecanismos de reparación.
- Integrar los factores sociales en la toma de decisiones corporativas.

El marco normativo que orienta la gestión de Gramalote Colombia Limited incluye el cumplimiento estricto de la legislación colombiana (Constitución Política, Código de Minas - Ley 685 de 2001, Ley 99 de 1993 y normas ambientales, sociales y laborales vigentes), así como la adhesión voluntaria a principios, convenios y guías internacionales, entre ellos:

- Principios Rectores de las Naciones Unidas sobre Empresas y Derechos Humanos.
- Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social de la IFC (2012).
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM).
- Global Reporting Initiative (GRI).
- Principios Voluntarios en Seguridad y Derechos Humanos.
- Pacto Global de Naciones Unidas y estándares de la OIT.
- Acuerdo de Escazú.

A través de este marco Corporativo, Gramalote Colombia Limited asegura que todas sus operaciones y decisiones sociales se conduzcan con integridad, respeto por las comunidades y compromiso con el desarrollo sostenible, en coherencia con las mejores prácticas internacionales y los lineamientos de B2Gold Corp.

E. Cultura organizacional

En Gramalote Colombia Limited, la cultura organizacional se fundamenta en la convicción de que la sostenibilidad no solo es un principio de gestión, sino también una oportunidad para generar valor compartido. Bajo esta perspectiva, la compañía orienta sus acciones a través de los siguientes pilares:

- Respeto por el medio ambiente y las comunidades.
- Cumplimiento de los compromisos.
- Actuar con pasión, devoción e imaginación.
- Avanzar y crecer juntos.
- Dejar un legado en las generaciones futuras.

Como parte de esta cultura, la estrategia de sostenibilidad integra componentes que buscan fortalecer el desarrollo social, económico y ambiental de las zonas de influencia. Estos componentes son:

Educación: Uno de los más grandes y duraderos legados que podemos ofrecer a las comunidades locales. Nuestros proyectos clave incluyen infraestructura escolar, becas educativas, herramientas y materiales didácticos, y asistencia y capacitación para docentes.

Medio ambiente: Tenemos un compromiso con la conservación del entorno, contribuyendo en beneficios ambientales duraderos y promoviendo las mejores prácticas. Nuestros proyectos clave incluyen gestión del agua, recuperación de minas, reforestación y conservación de la biodiversidad.

Salud: Una comunidad saludable significa una comunidad feliz y próspera. Nuestros proyectos clave incluyen acceso a instalaciones de salud y medicinas, programas de educación en nutrición, acceso a agua potable, mejoras en saneamiento y prevención de epidemias.

Medios de vida: El fortalecimiento y la promoción de medios de vida sostenibles y alternativos a la minería, son vitales para el crecimiento económico, la prosperidad y el bienestar general de las comunidades locales. Nuestros proyectos clave incluyen creación de empleos, desarrollo de negocios locales, capacitación vocacional y fortalecimiento de habilidades para encontrar empleo.

F. Descripción de las principales actividades

Las principales actividades definidas para la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se listan en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2 Principales actividades del proyecto

Etapas		Actividad	Definición
Construcción	Construcción de infraestructura y	Operación de casinos, oficinas y campamentos	Almacenamiento de insumos peligrosos y no peligrosos, disposición de residuos sólidos y la operación de

Etapa		Actividad	Definición
montaje de equipos			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
		Desmante	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, desmante, 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 mantenimiento de vías	Instalación de sub-base, base, pavimento asfáltico o concreto,

Etapa		Actividad	Definición
Operación	Actividades preliminares		construcción de obras de arte y señalización.
		Construcción de obras hidráulicas	Construcción de obras de drenaje y ocupaciones de cauce.
		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 acarreo	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 óxidos, 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

Etapa		Actividad	Definición
	Extracción		responsable de proporcionar la conexión hasta el sitio y ejecutar la construcción de la central.
		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.
		Perforación y voladura	Incluye la ubicación de la maquinaria, ejecución de perforaciones, carga de material explosivo, retiro del área y activación del explosivo de acuerdo con los diseños.
		Arranque mecánico y cargue	Retiro del material fragmentado y carga de camiones.
		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

Etapa		Actividad	Definición
			finalizado este proceso se apila y se transporta al circuito de molienda.
		Molienda (primaria y Secundaria)	Esta operación se realiza posterior al proceso de trituración, se realiza en húmedo y se busca disminuir aún más el tamaño de la partícula. Se realiza en molino semi-autógenos (SAG) y un molino de bolas. Se incluye un proceso de remolienda.
		Flotación	Acondicionamiento de pulpa, adición de reactivos, flotación Rougher, flotación Scavenger, recirculación del concentrado Scavenger, bombeo del concentrado Rougher, clasificación por tamaño, bombeo del producto de la remolienda, espesamiento de pulpa, recuperación de agua, bombeo de pulpa para la cianuración, alimentación de la remolienda, alimentación del circuito gravimétrico de finos, espesamiento de colas, recuperación de agua, bombeo de colas para la presa de colas.
		Concentración Gravimétrica	Cribado, concentración gravimétrica.
		Lixiviación	Cribado, alimentación de la cianuración, inyección de aire, dosificación de reactivos, cianuración en tanques agitados, bombeo de la pulpa cianurada.
		Adsorción con carbón (CIP)	Recepción de pulpa, admisión de carbón en los tanques, adsorción de metales en carbón, transferencia de pulpa entre tanques, cribado de colas de adsorción, bombeo de la pulpa para el CCD (Decantador en contracorriente), cribado del carbón cargado, transferencia del carbón cargado para la elución.
		Elución	Recepción de carbón en columna de lavado ácido, admisión de solución ácida, recepción de carbón en la columna de elución, elución de metales, bombeo de solución rica para electrodeposición, alimentación del horno de regeneración de carbón, regeneración de carbón, transferencia de carbón regenerado para tanques de adsorción.

Etapa		Actividad	Definición
		Electrodeposición de Oro	Recibimiento de solución rica, bombeo de solución rica para las celdas electrolíticas, recirculación de solución en las celdas electrolíticas, admisión de NaOH, electrodeposición de oro y plata, filtración de precipitado, alimentación del horno de fusión.
		Fundición	Recuperación de los metales de oro y plata desde las soluciones lixiviadas mediante el uso de calor a través de procesos pirometalúrgicos.
		Tratamiento de Colas	Alimentación del espesamiento pos cianuración, bombeo de la pulpa para decantación, bombeo de la pulpa del circuito de decantación, bombeo de la solución del decantador, bombeo de solución cianurada para H ₂ O ₂ destrucción, distribución de cianuro con H ₂ O ₂ , bombeo de solución detoxificada para el circuito CCD, bombeo de la solución del decantador para detoxificación con SO ₂ , adición de reactivos para detoxificación con SO ₂ , bombeo final de colas. Esta actividad contempla además el transporte hacia el sitio de tratamiento y la operación de ciclones.
		Regeneración de carbón	Paso siguiente a la elución que consiste en la remoción de la mayor cantidad de materia orgánica e inorgánica que se adhiere al carbón durante la adsorción y que no es removida durante la elución; a través del calentamiento en hornos que alcanzan hasta los 650 grados de temperatura.
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.

Etapa		Actividad	Definición
		Transporte y acarreo	Transporte de suelo para las actividades de rehabilitación y de escombros del proceso de dismantelamiento, así como también el acarreo de insumos y materiales asociados a la etapa de cierre.

Fuente: Integral S.A., 2025

G. Sustancias Requeridas en las Actividades Presentadas en la Modificación

En el apartado de información de contexto, además de las actividades orientadas a la identificación y análisis de posibles amenazas de origen operacional o tecnológico, resulta fundamental la identificación de las sustancias químicas empleadas en el proyecto. Esta información permite fortalecer el análisis de dichas amenazas y contribuye a la definición de los posibles escenarios de riesgo tecnológico que podrían presentarse.

Los reactivos utilizados en la planta de procesamiento son básicamente los mismos que se empleaban en el proceso descrito en el Programa de Trabajos y Obras aprobado, aunque su consumo será diferente:

- Amil Xantato de Potasio, PAX (Colector)
- Metil Isobutil Carbinol, MIBC (Espumante)
- Cal (Modificador de pH)
- Cianuro de Sodio (Agente lixivante)
- Metabisulfito de sodio, SMBS (Agente detox)
- Ácido Clorhídrico, HCl (Lavado ácido de carbón)
- Bórax (fundición de doré)
- Sílice (fundición de doré)
- Carbonato de sodio (fundición de doré)
- Nitrato de plomo (fundición de doré)
- Soda Caustica, NaOH (Proceso de elución)
- SNF- 913 SH (floculante)
- Sulfato de cobre pentahidratado (Catalizador para proceso detox)
- Tierra diatomácea (filtración)
- Polvo de Zinc (Precipitación Au, Ag y Cu)
- Nitrato de plomo (Precipitación Merrill Crowe)

La planta de preparación de reactivos y el patio de almacenamiento se ubicarán en un área común. Todas las construcciones contarán con ducha de emergencia, ducha para lavado de ojos y sistema de extinción de incendios. El patio de almacenamiento será un área pavimentada con cierre perimetral y se ubicará al lado de la planta de preparación de reactivos. La disposición de los reactivos químicos en el patio de almacenamiento será acorde con la normativa y protocolos establecidos por el área Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.

Todas las áreas de almacenamiento, preparación y distribución de reactivos constarán de un sistema de contención de derrames, uno para cada tipo de reactivo, con canal central y

bomba de sumidero. Los derrames o fugas serán dirigidos sumideros y enviados a tanques adecuados para ser reutilizados en la planta de proceso.

A continuación, se detallan las características básicas para el manejo de cada uno de los productos químicos usados en el proceso de beneficio y su relación respecto a las cantidades de mineral procesado.

- Lechada de cal apagada para el control del pH en la lixiviación de concentrados y la destrucción de cianuro;
- Colector de xantato de amilo de potasio (PAX) para flotación de espuma;
- Vaporizador para proporcionar una espuma estable para la flotación de espuma;
- Cianuro de sodio (NaCN) para la disolución de oro en lixiviación concentrada y reactor de cianuración intensiva y desorción de carbono;
- Nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) para mejorar la disolución del oro;
- Soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH) para el control del pH en un reactor de cianuración intensiva, neutralización del lavado ácido de carbono, desorción de carbono y electroobtención;
- Ácido clorhídrico (HCl) para el lavado con ácido carbónico;
- Metabisulfito de sodio (SMBS) para la destrucción del cianuro;
- Sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) para la destrucción del cianuro;
- Floculante para espesar;
- Fundentes para fundición;
- Antiincrustante para minimizar la incrustación en la distribución de agua de proceso, distribución de agua de lixiviación, distribución de agua de recuperación, distribución de agua dulce, distribución de agua de glándula y circuito de elución.

Adicionalmente se utilizará en los procesos las siguientes sustancias:

Aire comprimido: El aire comprimido será utilizado como aire para instrumentación (Válvulas y demás instrumentos neumáticos), para el funcionamiento de las herramientas neumáticas y para el accionamiento de algunos equipos.

El sistema de aire de baja presión para flotación consistirá en 2 redes de distribución diferentes, ya que las celdas de flotación Rougher requieren mayor presión de aire que las celdas Cleaner. Por tanto, se tendrán 2 tipos de compresores diferentes para este suministro.

El aire requerido en la flotación flash será suministrado por sopladores destinados solamente para cada una de las celdas que estarán ubicados cerca de ellas en el área de los circuitos de molienda, en tanto que el aire requerido por el tanque de pre-oxigenación será suministrado por un soplador de uso exclusivo para el tanque.

Oxígeno: El oxígeno requerido para el proceso de cianuración y para el método Inco de destrucción de cianuro se proveerá a través de una planta de oxígeno que suministrará el gas con una pureza del 93 % y que tendrá una capacidad de producir 60 t/d.

Se estima que el consumo en el proceso de lixiviación será de 48.6 t/d y para el proceso Inco será de 9.1 t/d.

Gas natural: El gas requerido para el horno de regeneración de carbón y el intercambiador de calor empleado en el proceso de elución se proveerá directamente a la planta de procesamiento mediante una conexión a la red nacional de gas natural.

El consumo anual estimado de gas para el intercambiador de calor será de 1,769 gJ y para el horno de regeneración de carbón será 1,966 gJ.

10.1.3.1.2 Contexto externo

Se refiere al entorno externo en el que la organización busca lograr sus objetivos organizacionales, estableciendo un compromiso, credibilidad y confianza con su entorno y la comunidad en el área de influencia potencialmente afectada, todo en concordancia con la gestión de riesgos (Decreto 2157, 2017).

A. Medio Abiótico

a. Hidrología

El área de influencia del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Nus, la principal corriente hídrica de la zona. En la Figura 10.2 se presenta la red hidrográfica generalizada correspondiente a las cuencas susceptibles de intervención, todas ubicadas en la margen derecha del río Nus y limitada aguas abajo hasta una longitud de mezcla muy conservadora, que es suficiente para que se den los procesos de mezcla de los nuevos vertimientos. Estas cuencas incluyen las quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina.

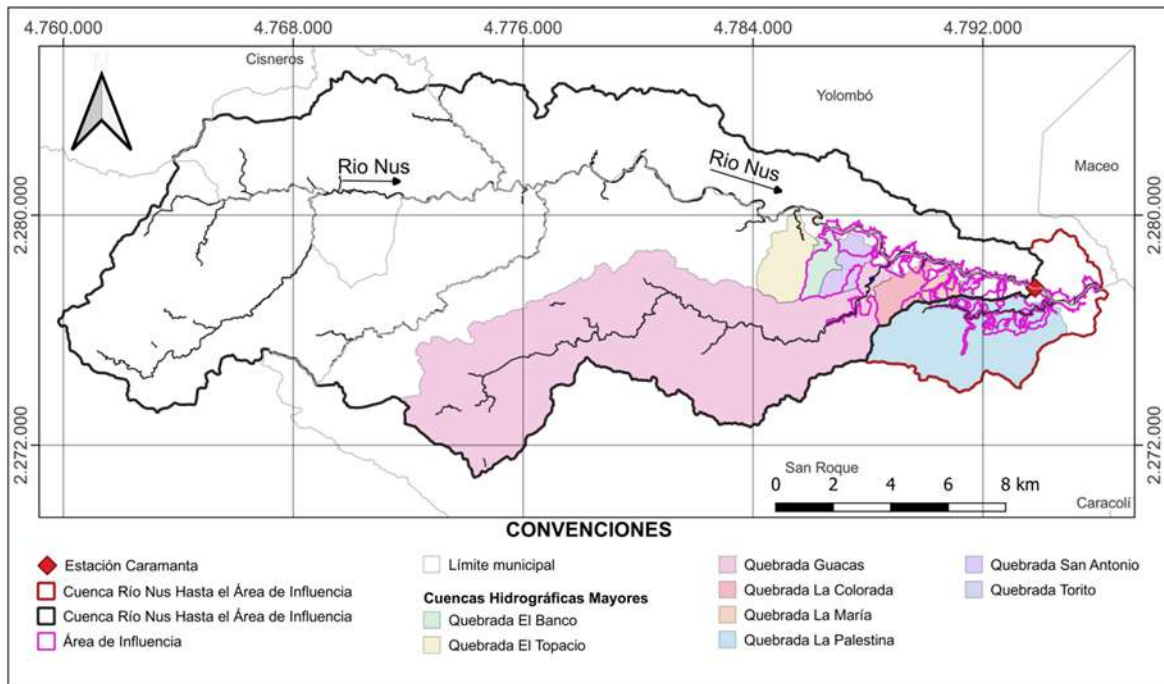


Figura 10.2 Localización de cuencas dentro del área de Influencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

Río Nus: La cuenca del río Nus se localiza al este del departamento de Antioquia, en la zona central del mismo. El río forma su cuenca sobre la vertiente oriental de la cordillera

Central, en los municipios de Santo Domingo, Cisneros, Yolombó, Maceo, Puerto Berrío y Puerto Nare en su vertiente izquierda; y San Roque y Caracolí en su vertiente derecha.

Quebrada el Topacio: La cuenca de la quebrada El Topacio cuenta con un área de 4,06 km², con altitudes que varían entre los 1.255 m.s.n.m. hasta los 820 m.s.n.m.; una longitud de cauce de 5,33 km y un perímetro de 9,82 km.

Quebrada El Banco: La cuenca cuenta con un área de 1,76 km², un perímetro de 7,46 km y una longitud de cauce de 3,79 km, además cuenta con una variación altimétrica que va desde los 1.185 m.s.n.m. a los 820 m.s.n.m.

Quebrada San Antonio: La cuenca de la quebrada San Antonio tiene un área de 2,24 km² aproximadamente, con altitudes que varían entre los 1.090 m.s.n.m. en su nacimiento y los 815 m.s.n.m. en su desembocadura sobre el río Nus; su perímetro es de 8,18 km y cuenta con una longitud de cauce principal de 3,40 km.

Quebrada Guacas: La cuenca de la quebrada Guacas se encuentra localizada en el municipio de San Roque, puntualmente sobre la margen derecha del río Nus. Se caracteriza por tener un área de 64,13 km², con altitudes que varían entre los 1.820 m.s.n.m. aproximadamente en su nacimiento y los 815 m.s.n.m. en su confluencia con el río Nus. Su perímetro es de 54,59 km aproximadamente y el cauce tiene una longitud de 28,22 km.

Quebrada La Colorada: La cuenca de la quebrada La Colorada tiene un área de 2,33 km² con altitudes que varían entre los 1.160 m.s.n.m. en su nacimiento y los 815 m.s.n.m. en su desembocadura en el río Nus, su perímetro es de 7,80 km y su longitud de cauce de 3,34 km.

Quebrada La María: La cuenca de la quebrada La María tiene un área de 1,13 km², la cual cuenta con altitudes que varían entre los 980 m.s.n.m. en su nacimiento y los 810 m.s.n.m. en su desembocadura en el río Nus, su perímetro es de 4,93 km y su longitud de cauce es de 1,96 km.

Quebrada El Torito: La hoya hidrográfica de la quebrada El Torito cuenta con un área de 0,27 km², una longitud de cauce principal de 1,04 km, un perímetro de 2,50 km y con altitudes que varían entre los 995 m.s.n.m. y los 810 m.s.n.m.

Quebrada La Palestina: La cuenca de La Palestina hasta su confluencia con el río Nus presenta altitudes que varían entre los 1.305 m.s.n.m. aproximadamente en su nacimiento y los 805 m.s.n.m. en su punto más bajo; presenta un perímetro de 20,42 km, un área de 15,78 km² y una longitud de cauce de 10,40 km.

Con relación a los sistemas lénticos y lóticos identificados, el río Nus, constituye el principal sistema lótico identificado en la zona, debido a su relevancia en términos de longitud y área de drenaje aferente. Adicionalmente, se identificó un cuerpo léntico antrópico (ver Figura 10.3) que se encuentra dentro del área de influencia sobre las coordenadas E: 4.787.998,62 y N: 2.278.158,79 (sistema de origen único nacional). Según lo observado en campo, este reservorio es destinado para desarrollar actividades ganaderas.

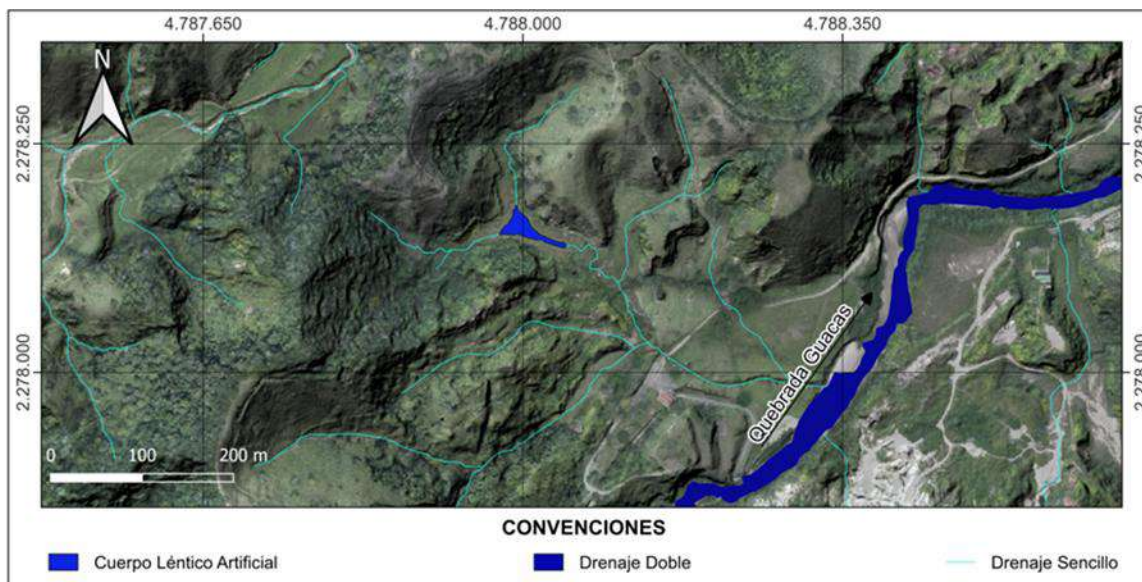


Figura 10.3 Cuerpo léntico en el área de influencia

Fuente: Integral S.A., 2025

Por otra parte, en relación con el régimen de precipitaciones presente en la zona donde se localiza el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se evidencia que todas las estaciones de precipitación presentan un régimen bimodal, identificando que los periodos de lluvias más intensas se ubican entre los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre, mientras que las épocas secas se presentan entre diciembre-febrero y junio-agosto. (ver Tabla 10.3 y Figura 10.4).

Tabla 10.3 Valores medios mensuales de precipitación para cada estación

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
San Roque	124	162	297	420	498	361	294	345	423	450	363	189
Gja Exp El Nus	56	85	162	238	288	218	224	232	281	278	191	84
Alejandría	181	193	348	458	600	458	407	466	540	543	366	225
El Morro	89	147	226	421	503	305	321	350	416	418	300	161
Guayabito	122	147	248	399	509	365	353	393	428	441	328	175
Las Violetas	119	142	264	390	456	350	325	369	448	532	382	216
San Antonio	55	67	175	264	292	201	153	232	231	268	188	86
Sto. Domingo	108	131	237	347	438	346	301	366	382	386	293	140
Yolombo	88	95	273	346	429	296	228	322	320	381	307	103

Fuente: Integral S.A., 2025

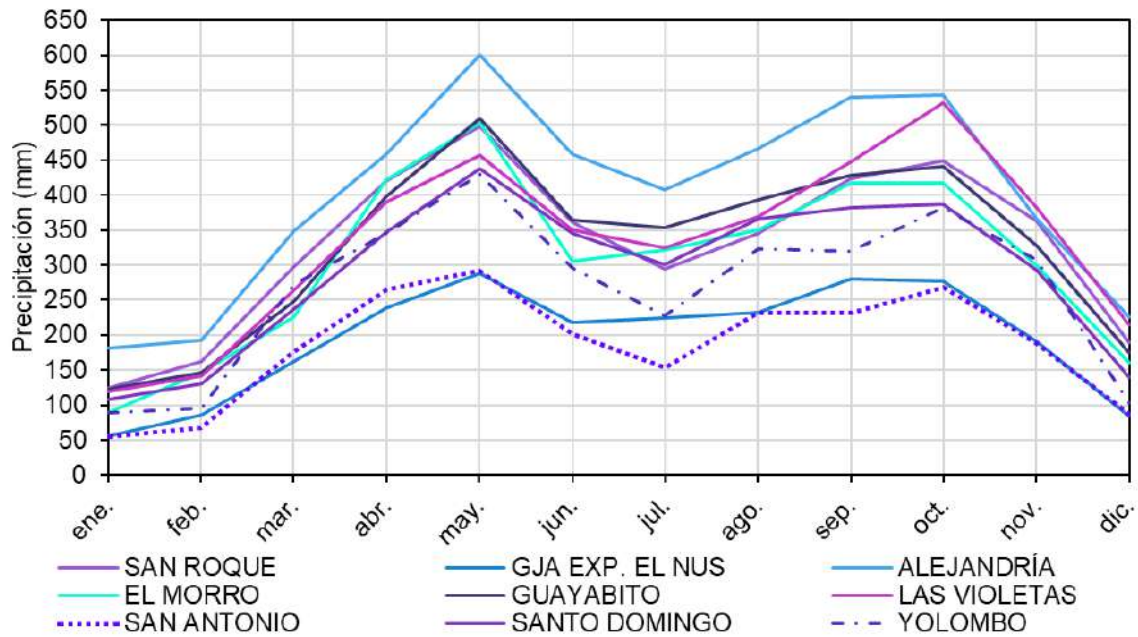


Figura 10.4 Ciclos característicos de la precipitación para cada estación

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Geología

A continuación, se describe de manera general las unidades geológicas que se encuentran dentro del área de influencia abiótica, sobre la cual se realiza el análisis del riesgo. Es importante señalar que la información a detalle de la geología del proyecto se encuentra en el capítulo 5.1.1 Geología de la presente modificación de licencia.

En la Figura 10.5 se presenta el mapa geológico local para área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y en la en la Tabla 10.4 se presentan las áreas y los porcentajes de ocupación de las unidades geológicas locales con respecto al área de influencia abiótica.

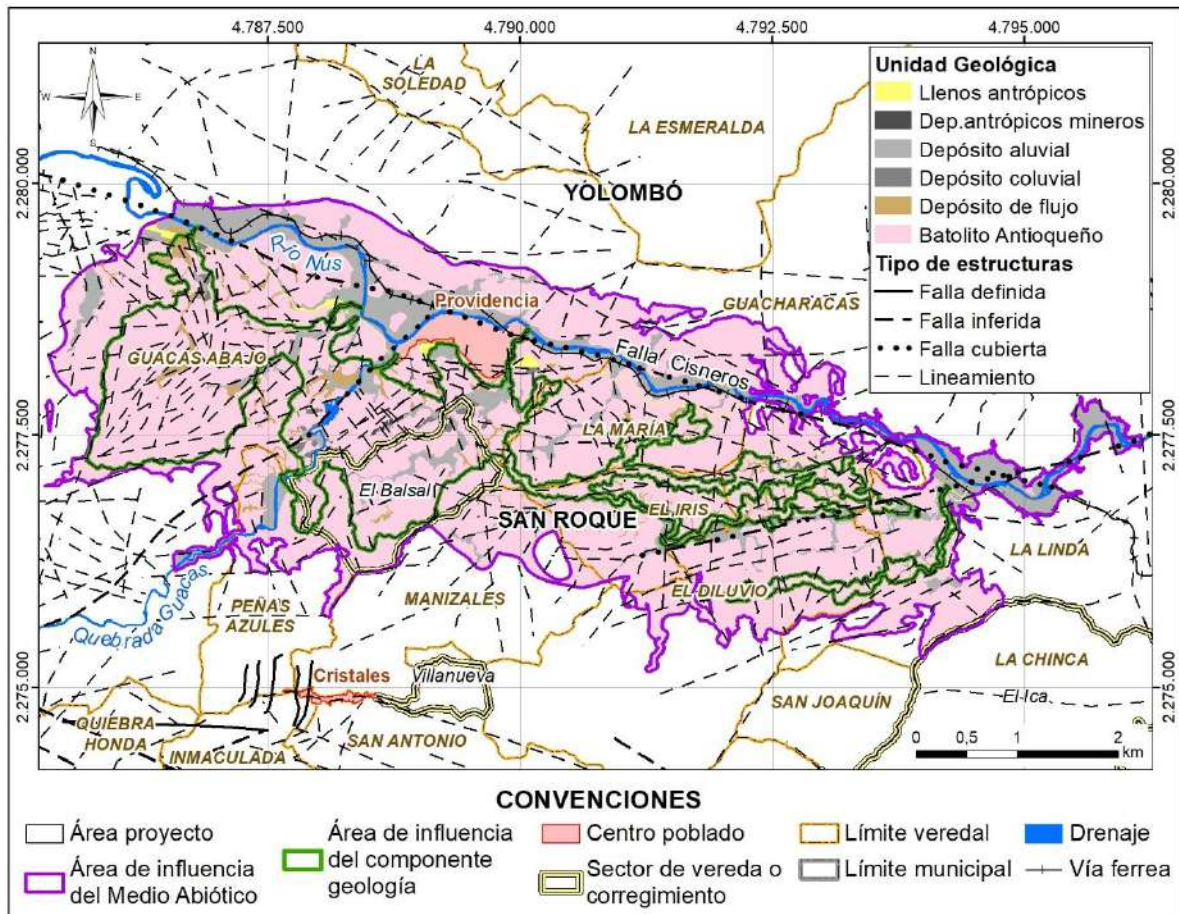


Figura 10.5 Geología local de la zona del Proyecto Gramalote

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 10.4 Porcentajes de las unidades litoestratigráficas

Unidad Geológica o Formación superficial	Área de influencia abiótica		Área de influencia componente geología	
	ha	%	ha	%
Batolito Antioqueño	1968,09	78,87	588,12	83,64
Depósitos aluviales	387,70	15,54	58,52	8,32
Depósitos coluviales	17,09	0,68	10,87	1,55
Depósitos de flujo	66,56	2,67	38,86	5,53
Llenos antrópicos	17,94	0,72	2,43	0,35
Río	37,91	1,52	4,38	0,62
Total	2495,27	100,00	703,18	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025

I. Batolito Antioqueño

Es una roca de tipo ígneo, masiva, de textura fanerítica, equigranular con variaciones locales en el tamaño de grano. Su composición es principalmente tonalítica con variaciones a granodiorita y cuarzodiorita. Los minerales constituyentes incluyen plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo. En algunos sectores se observa orientación de minerales y presencia de autolitos o enclaves de la roca encajante.

II. Depósitos aluviales (Qal)

Esta unidad agrupa depósitos generados a partir de los drenajes que surcan la zona. La dinámica fluvial del sector incluye corrientes permanentes, con cauces definidos y diversos grados de incisión que favorecen la acumulación del material aluvial hacia los cauces activos y llanuras de inundación cercanos al río Nus y quebradas afluentes de éste. Los principales depósitos aluviales se asocian a los drenajes que incisan en sentido NE (agrupadas de Oeste a Este están representados por las quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, El Balsal y La Palestina) y desembocan posteriormente al río Nus. La mayoría están constituidos por suelos arenosos finos a limosos, de compacidad baja, derivados del arrastre de los suelos del Batolito Antioqueño.

III. Depósitos coluviales (Qc)

La dinámica de ladera asociada a los espesos suelos presentes y las zonas de pendientes altas a moderadas favorece la generación de deslizamientos. Por lo anterior, es común la ocurrencia de depósitos coluviales (Qc) constituidos en su mayoría por suelo y menor porcentaje de bloques de roca que han sido removidos de los horizontes de meteorización más superficiales. Son generalmente matriz soportados con fragmentos meteorizados de tamaños generalmente centimétrico, de formas angulosas a subangulosas; la textura de la matriz varía de limo arcillosa a limo arenosa y es de consistencia principalmente blanda.

IV. Depósitos de flujo (Qfl)

Son depósitos generados por movimientos en masa, muchas veces canalizados por cañadas o valles estrechos, que involucran gran cantidad de agua y por lo tanto un transporte relativamente fluido, para finalmente depositarse con una forma alargada con mayor amplitud en una parte baja.

Son generalmente matriz soportados con fragmentos meteorizados de tamaños centimétrico, de formas angulosas a subangulosas; la textura de la matriz varía de limo arcillosa a limo arenosa y es de consistencia principalmente blanda. Se presentan en algunas vaguadas y caños menores.

V. Unidades Geológicas Antrópicas

Corresponden a depósitos artificiales no consolidados que son generados por el hombre con diferentes finalidades como excavaciones, reconfiguración de terraplenes para vías o caminos, depósitos de escombros, entre otros. [A continuación, se presenta la descripción de dichas unidades:](#)

I. Llenos antrópicos asociados a adecuación de terrenos e infraestructura (Qll)

La unidad geológica Llenos Antrópicos (QII) corresponden a materiales empleados en actividades de conformación de plataformas, vías de acceso y adecuación topográfica, constituidos por mezclas heterogéneas de suelos y fragmentos de roca procedentes de excavaciones locales

II. Depósitos antrópicos mineros asociados a minería artesanal histórica (Dam)

Corresponden a acumulaciones de estériles y materiales de excavación generados durante actividades históricas de minería artesanal. Estos depósitos presentan geometrías irregulares y distribución localizada sobre laderas intervenidas, conformando acumulaciones superficiales de material rocoso grueso derivado de las unidades geológicas explotadas, las cuales se observan en cercanías de la quebrada La Colorada

c. Geomorfología

Las geoformas son la expresión superficial del terreno, resultado de la interacción de los materiales que las constituyen, disposición estructural, los procesos morfológicos que interactúan según el ambiente morfogenético donde se desarrollan y el tiempo de duración de la acción que los moldea.

La unidad geomorfológica, geoforma individual genéticamente homogénea, se genera por procesos constructivos o destructivos de un ambiente particular. Son los elementos básicos que componen el paisaje y los modelos geomorfológicos soportados por diferentes criterios en función de la génesis, forma y geometría con relación a la escala del proceso natural formador (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Para la caracterización de la subunidad geomorfológica, en una escala comprendida entre 1:10.000 y 1:25.000, se consideran la fotointerpretación de imágenes satelitales, el Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 1 m y los recorridos de campo realizados. Igualmente, a partir de análisis espaciales realizados en la plataforma ArcGIS, se derivan el mapa de pendientes (véase mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-PEND) y el modelo de sombras, los cuales aportan información relevante para esta categoría. La caracterización está fundamentada en los contrastes morfológicos y morfométricos, donde el tipo de material o la disposición estructural están relacionados. Además, se asocia con procesos superficiales actuales, tales como meteorización, erosión, transporte y acumulación.

En la Tabla 10.5 se muestran las áreas en hectáreas y en porcentajes de las unidades geomorfológicas que se encuentran en el área de influencia abiótica del proyecto, así mismo en la Figura 10.6 se presenta la cartografía geomorfológica local (unidades geomorfológicas), esto según el Servicio Geológico Colombiano, (2015).

Tabla 10.5 Unidades geomorfológicas para el área de influencia abiótica del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote

Subunidades geomorfológicas	Nomenclatura	Área de influencia abiótica	
		ha	%
Ambiente denudacional			

Subunidades geomorfológicas	Nomenclatura	Área de influencia abiótica	
		ha	%
Colina residual	Dcr	219,91	8,81
Colina residual muy disectada	Dcrmd	122,64	4,91
Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	16,55	0,66
Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	Dlfl	66,25	2,43
Lomos denudados	Dlde	128,11	5,13
Montículos y ondulaciones denudacionales	Dmo	626,21	25,10
Escarpe de erosión mayor	Deem	8,34	0,33
Ladera erosiva	Del	126,46	0,70
Lomeríos muy disectados	Dlmd	95,95	3,85
Lomeríos poco disectados	Dlpd	64,89	2,60
Lomo denudado moderado de longitud media	Dldmm	134,70	5,40
Ambiente estructural			
Lomo de falla	Slf	426,24	17,08
Ambiente Fluvial			
Cauce aluvial	Fca	37,91	1,52
Planicie aluvial confinada	Fpac	17,01	0,68
Plano o Llanura de inundación	Fpi	364,22	14,60
Cono de deyección	Fcdy	5,13	0,21
Ambiente antropogénico			
Explotación minera	Aemc	17,46	0,70
Planos y campos de llenos antrópicos	Ar	6,36	0,26
Superficies de explanación	Asp	10,47	0,42
Total		2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de Servicio Geológico Colombiano, (2015)

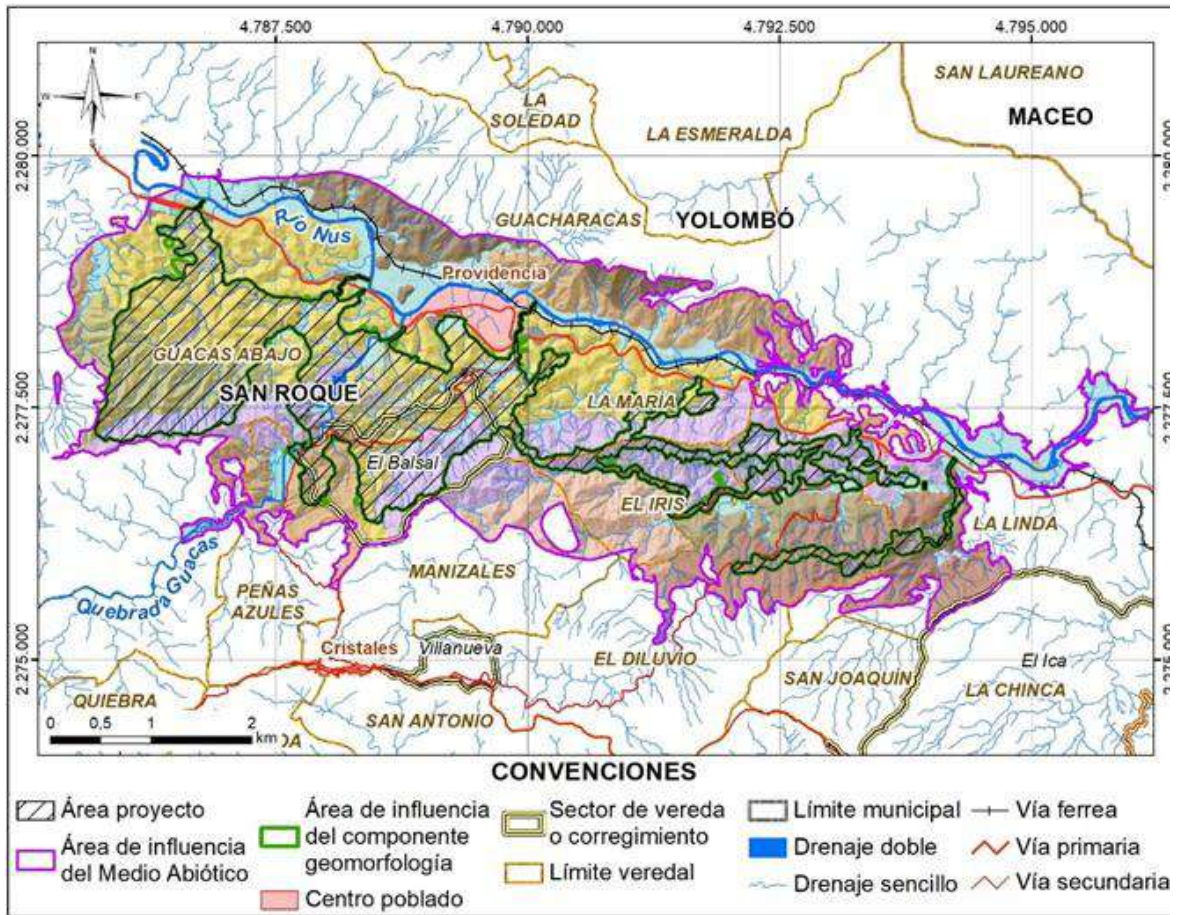


Figura 10.6 Unidades geomorfológicas en el área de influencia de la modificación de la licencia ambiental del Gramalote

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de Servicio Geológico Colombiano, (2015)

d. Coberturas de la tierra

Para el área de influencia abiótica, área sobre la cual se realiza el análisis del riesgo en el presente documento, las coberturas de la tierra abarcan una extensión total de 2.495,27 ha, distribuidas en 21 coberturas. La cobertura de mayor extensión corresponde a pastos

limpios con 632,31 ha, lo que representa el 25,34% del área total del área de influencia abiótica, seguido por la cobertura de vegetación secundaria baja con 363,67 ha, representando un 14,57% del área total de influencia abiótica. En la Tabla 10.6 se listan las coberturas de la tierra presentes en el área de influencia abiótica y en la Figura 10.7 se ilustra la espacialización de estas.

Tabla 10.6 Coberturas de la tierra en el área de influencia abiótica

Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Aeropuerto	0,29	0,01%
Bosque de galería y/o ripario	247,24	9,91%
Bosque denso alto	19,39	0,78%
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	180,54	7,24%
Cultivos permanentes herbáceos - Caña	284,71	11,41%
Instalaciones recreativas	0,71	0,03%
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,71	0,03%
Mosaico de cultivos	10,88	0,44%
Pastos arbolados	234,91	9,41%
Pastos enmalezados	196,10	7,86%
Pastos limpios	632,31	25,34%
Red vial y territorios asociados	19,98	0,80%
Ríos	37,88	1,52%
Tejido urbano continuo	17,88	0,72%
Tejido urbano discontinuo	12,59	0,50%
Tierras desnudas y degradadas	6,63	0,27%
Vegetación secundaria alta	200,95	8,05%
Vegetación secundaria baja	363,67	14,57%
Zonas arenosas naturales	2,69	0,11%
Zonas de extracción minera	17,46	0,70%
Zonas industriales o comerciales	7,76	0,31%
Total	2.495,27	100,00%

Fuente: Integral S.A., 2025

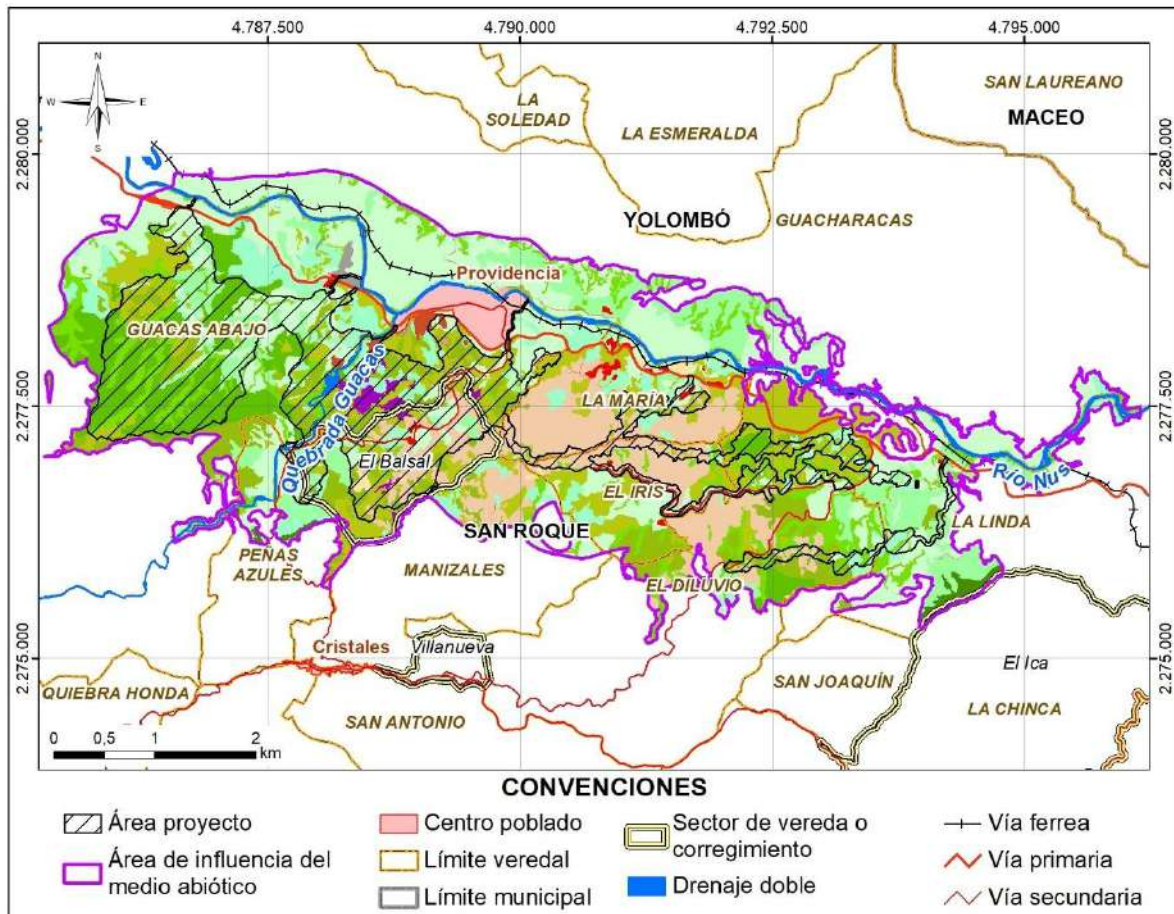


Figura 10.7 Coberturas de la tierra en el área de influencia abiótica

Fuente: Integral S.A., 2025

B. Medio Biótico

a. Flora

Para el presente MEAI, la caracterización y estadística de la flora del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolló en el marco del Área de Influencia (AI) Biótica. En este sentido, el presente apartado del Plan de Gestión del Riesgo corresponde a una síntesis de la información procesada para dicha área, presentada de manera contextual e incorporando el área de análisis de la gestión del riesgo.

La caracterización florística del área de influencia del proyecto Gramalote reveló una alta diversidad vegetal, con 1.923 especies potenciales distribuidas en 166 familias y 761 géneros. Las familias más representativas fueron Rubiaceae, Fabaceae, Melastomataceae y Orchidaceae, que en conjunto aportan cerca del 25% de la riqueza total. Predominan los árboles (637 especies), seguidos por hierbas, arbustos y epífitas, estas últimas con 254 especies, principalmente de Orchidaceae y Bromeliaceae, muchas bajo regulación CITES

y vedas nacionales. Se identificaron 68 especies endémicas y 62 con categorías de amenaza (VU, EN, CR) según UICN y normativa nacional, lo que resalta la importancia ecológica del área y la necesidad de medidas de conservación.

En los muestreos de campo se registraron dos biomas: Orobioma Subandino Nechí–San Lucas y Helobioma Nechí–San Lucas. El primero concentró la mayor riqueza y abundancia, con 75.908 individuos en 13 coberturas, destacando la familia Cyatheaceae con 32.515 individuos, principalmente helechos arborescentes como *Cyathea paísa* y *Cyathea poeppigii*, que evidencian alta capacidad de regeneración (21.154 individuos juveniles). También se censaron especies vedadas regionalmente como *Calophyllum brasiliense*, *Cariniana pyriformis* y *Magnolia silvioi*, sumando 450 individuos, con preferencia por coberturas boscosas fragmentadas y de galería. Estas especies son claves por su valor ecológico y su vulnerabilidad frente a la intervención antrópica.

La flora epífita mostró una notable diversidad: se registraron 9.804 individuos de epífitas vasculares en el Orobioma Subandino, pertenecientes a 112 especies y 26 familias, con dominancia de Araceae y Orchidaceae. Las especies más abundantes fueron *Tillandsia sp.1*, *Didymoglossum sp.1* y *Pleopeltis bombycina*, asociadas principalmente a bosques de galería y vegetación secundaria. En cuanto a epífitas no vasculares, se identificaron 189 especies (líquenes, hepáticas, musgos y antoceros) que cubren 1.804.906 cm², con predominio de líquenes (66,18% de la cobertura) y hepáticas (28,44%), indicadores de microclimas húmedos y calidad ambiental. Esta riqueza confirma la relevancia de los ecosistemas conservados para mantener la funcionalidad ecológica y la biodiversidad.

Finalmente, las coberturas naturales y seminaturales, como bosques de galería y fragmentados, concentran la mayor diversidad y abundancia, mientras que las áreas antropizadas presentan menor riqueza y ausencia de grupos sensibles como epífitas vasculares. La presencia de especies vedadas, endémicas y amenazadas, junto con la alta diversidad de epífitas, subraya la necesidad de estrategias de manejo que incluyan protección de hábitats críticos, control de actividades extractivas y programas de restauración ecológica. Estos resultados constituyen insumos esenciales para el Plan de Manejo Ambiental y la gestión de riesgos asociados a la pérdida de biodiversidad en el marco del proyecto.

b. Fauna

Para el presente MEAI, la caracterización y análisis de la fauna del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrollaron en el marco del Área de Influencia (AI) Biótica. En consecuencia, este apartado del Plan de Gestión del Riesgo presenta una síntesis de la información procesada para dicha área, expuesta de manera contextual e incorporando el área de análisis de la gestión del riesgo.

De acuerdo con el informe de caracterización de los ecosistemas terrestres centrada en la fauna para el proyecto de Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, con fecha de enero de 2026 descrito en el capítulo 5.2.1.2 Fauna de la presente modificación de licencia se describe la composición y diversidad general de la fauna, en especial la caracterización de los ecosistemas terrestres y el medio biótico, específicamente la fauna, incluyendo avifauna, mamíferos, anfibios y reptiles.

Los principales resultados del muestreo arrojaron:

I. Aves

- Composición Registrada: Se registraron 1599 individuos y 176 especies. El orden Passeriformes fue el más abundante (915 individuos) y rico (112 especies).
- Especies Dominantes: Las especies más abundantes fueron *Leptotila verreauxi* (5,13%), *Ortalis columbiana* (4,69%), *Amazona amazónica* (4,09%) y *Psarocolius decumanus* (3,69%).
- Diversidad por Hábitat: Todas las coberturas evaluadas mostraron una diversidad de aves de moderada a alta (índice de Shannon H' superior a 3). Los pastos arbolados (Pa) destacaron con el valor de diversidad más elevado ($H' = 4,226$), mientras que los cultivos permanentes herbáceos de caña (Cañ) mostraron la mayor riqueza (83 especies) y abundancia (365 individuos). La presencia dominante de la familia Tyrannidae en la mayoría de las coberturas sugiere un grado de intervención en estos hábitats.
- Gremios Tróficos: El gremio insectívoro presentó la mayor riqueza (80 especies), con *Elaenia flavogaster* y *Pitangus sulphuratus* como las más abundantes dentro de este grupo. Las aves frugívoras son el segundo gremio más rico (59 especies).
- Conservación y Endemismo (Registrado): Ninguna especie registrada se encuentra en alguna categoría de amenaza (IUCN, MADS). Sin embargo, se registró una especie endémica, la Guacharaca colombiana (*Ortalis columbiana*), catalogada como Preocupación Menor (LC) por la IUCN. Diecinueve (19) especies migratorias fueron registradas, siendo la mayoría de tipo latitudinal (16 spp.).

II. Mamíferos

- Composición Registrada: Se registraron 576 individuos y 34 especies. Chiroptera (13 especies) fue el orden más diverso, pero Rodentia (268 individuos) fue el más abundante.
- Especies Dominantes: La rata espinosa *Proechimys semispinosus* fue la especie dominante, representando el 36,46% de la abundancia total. La segunda especie más abundante fue el Tití gris (*Oedipomidas leucopus*) (19,44%).
- Diversidad por Hábitat: La mayor riqueza (22 especies) se concentró en el bosque fragmentado con vegetación secundaria (Bfvs), que también presentó la mayor diversidad ($H' = 2,355$). La mayor abundancia (179 individuos) se registró en el bosque de galería y/o ripario (Bgr).
- Gremios Tróficos: El gremio frugívoro tuvo la mayor riqueza (14 especies), seguido por los omnívoros (9 especies) y los insectívoros (5 especies).
- Conservación y Endemismo (Registrado): El Tití gris (*Oedipomidas leucopus*) es la única especie endémica registrada en el muestreo y se encuentra categorizada como Vulnerable (VU) tanto a nivel global (IUCN) como nacional (MADS). Seis (6) especies registradas están listadas en los apéndices CITES.

III. Anfibios

- Composición Registrada: Se registraron 247 individuos y 18 especies, todas del orden Anura. Hylidae fue la familia más representativa en riqueza (8 especies) y abundancia (85 individuos).

- Especies Dominantes: Las especies más comunes fueron *Rhinella horribilis* (20,65%) y *Engystomops pustulosus* (17,81%).
- Diversidad por Hábitat: El bosque de galería y/o ripario (Bgr) mostró la mayor diversidad ($H' = 2,418$) y riqueza (12 especies), lo que sugiere que los hábitats boscosos son cruciales para la conservación de la herpetofauna local.
- Gremios Tróficos: El ensamblaje de anfibios está dominado por insectívoros, con *Rhinella horribilis* destacada por su dieta generalista y oportunista.
- Conservación y Endemismo (Registrado): Ninguna de las especies registradas está en alguna categoría de amenaza (IUCN, MADS). *Dendrobates truncatus*, una especie endémica, está catalogada en CITES Apéndice II, siendo vulnerable a la sobreexplotación por el tráfico de fauna. No se registraron especies migratorias.

IV. Reptiles

- Composición Registrada: Se registraron 113 individuos y 18 especies. Las familias Anolidae y Teiidae fueron las más ricas (3 especies cada una), siendo Teiidae la más abundante (34 individuos).
- Especies Dominantes: Las especies más comunes son *Anolis auratus* (18,58%), *Gonatodes albogularis* (17,70%) y *Cnemidophorus gaigei* (16,81%), todas ellas tolerantes a la intervención antrópica.
- Diversidad y Esfuerzo de Muestreo: La riqueza observada (18 especies) fue moderada en relación con la potencial (29 especies). El muestreo alcanzó una cobertura moderada, lo cual se atribuye a la baja detectabilidad y al comportamiento críptico de los reptiles.
- Gremios Tróficos: El gremio insectívoro presentó la mayor riqueza (8 especies).
- Conservación y Endemismo (Registrado): *Anolis sulcifrons* se registró y está catalogada por la IUCN como Casi Amenazada (NT), siendo afectada por la fragmentación y pérdida de hábitat. La *Boa constrictor* está en CITES Apéndice II. No se registraron especies migratorias.

En resumen, el área de influencia del proyecto posee una alta diversidad de fauna, especialmente en los grupos de aves y mamíferos, con una notable representatividad de especies especialistas, aunque las especies dominantes suelen ser generalistas y resilientes a la alteración del paisaje. La conservación se centra en especies endémicas y amenazadas registradas, como el Tití gris (*Oedipomidas leucopus*) (VU) y la guacharaca colombiana (*Ortalis columbiana*), así como en la importancia de los hábitats boscosos (bosque de galería y bosque fragmentado) como refugios clave.

C. Medio Socioeconómico

a. Empresas que manejen sustancias químicas

Para la definición de las empresas que manejen sustancias químicas con las cuales se superpone el proyecto se identificaron los proyectos de redes eléctricas, vías, predios, Central Hidroeléctrica La Cascada y proyectos de formalización minera.

I. Redes de oleoductos, poliductos y gas

En el área de intervención del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote no se identifican redes de oleoductos, poliductos ni gasoductos licenciados o en operación, de carácter nacional, regional o local, que requieran ser trasladados, reubicados o protegidos como resultado del desarrollo de las obras. De acuerdo con la información disponible en el portal en línea Sistema Ágil ANLA y la revisión de información suministrada por Cornare en la respuesta con radicado CS-02552-2025 (ver ANEXOS_CONSULTA_AUTORIDADES_2_CORNARE_CS-02552-2025), en las veredas y sectores intervenidos no existen infraestructuras asociadas al transporte de hidrocarburos o gas que generen condicionantes para el diseño o la ejecución del proyecto.

No obstante, el proyecto contempla la implementación de una planta para autoproducción de energía, destinada a garantizar el abastecimiento eléctrico requerido para las actividades del proyecto, en complemento a la infraestructura eléctrica existente. Esta instalación corresponde a infraestructura energética interna del proyecto, localizada dentro del área licenciada.

La planta de energía corresponde a una central de generación térmica a gas natural, con una capacidad instalada total de 44 MW, diseñada para el abastecimiento eléctrico de las operaciones del proyecto. La central estará conformada por un conjunto de unidades de generación térmica, que operan mediante la combustión controlada de gas natural para la producción de energía eléctrica, lo que permite una operación continua, eficiente y confiable. El sistema incluirá las instalaciones auxiliares necesarias para su funcionamiento, tales como sistemas de recepción y regulación de gas, unidades de control y protección eléctrica, sistemas de enfriamiento, ventilación y control de emisiones, así como infraestructura de seguridad industrial.

El gas natural requerido para la operación de la central de generación térmica será suministrado a través del Sistema Nacional de Transporte de Gas Natural (SNT), infraestructura de alcance nacional encargada del transporte del combustible desde los puntos de producción y procesamiento hasta los centros de consumo (ver Figura 10.8). El suministro hasta el sitio del proyecto se realizará mediante un ramal de conexión asociado al SNT, el cual garantiza que el gas entregado cumpla con las condiciones de presión, calidad y continuidad necesarias para el adecuado funcionamiento de los motogeneradores que conforman la central.

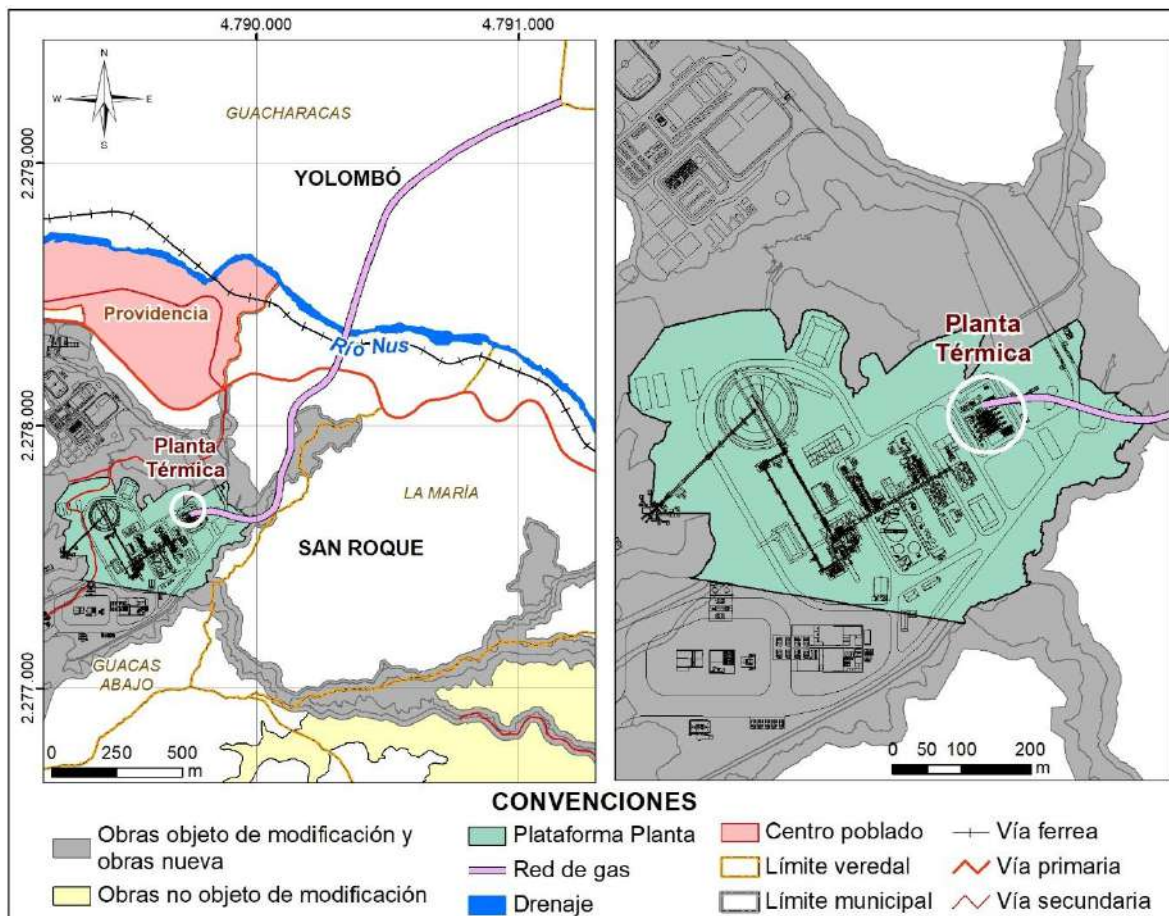


Figura 10.8 Ramal de conexión de la central de generación térmica desde el Sistema Interconectado Nacional

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

En este sentido, aunque el proyecto incorpora infraestructura para generación propia de energía, no se configura la interceptación ni afectación de redes de oleoductos, poliductos o gas existentes.

II. Redes eléctricas

A partir de la información identificada en el Geoportal del Grupo EPM se identificó que el área del proyecto es atravesada por un corredor eléctrico conformado por líneas aéreas de subtransmisión y distribución primaria, todas en estado operativo y clasificadas como red rural.

Las líneas de subtransmisión se asocian al circuito San José de Nus, con tensiones del orden de 44 kV. Estos tramos conforman el corredor principal de subtransmisión que atraviesa el municipio de San Roque y se superpone parcialmente con el área del proyecto.

La red primaria también de carácter rural hace parte de un grupo de redes de 7,62 kV y 13,2 kV. Estos tramos corresponden a alimentadores y ramales de distribución que suministran energía a veredas y asentamientos rurales en áreas aledañas al proyecto.

Todas las líneas son de propiedad u operación de EPM, con mercado de atención regional, y se encuentran en estado de operación, lo que indica que se trata de infraestructura existente y en servicio, ver Figura 10.9.

III. Central Hidroeléctrica La Cascada

En el área de intervención del proyecto se localiza la Central Hidroeléctrica La Cascada (ver Figura 10.9), infraestructura destinada a la generación de energía eléctrica, la cual cuenta con título de concesión y con el respectivo instrumento ambiental otorgado por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). Este proyecto dispone de licencia ambiental vigente, expedida mediante la Resolución No. 112-3905-2003 del 11 de junio de 2003, acto administrativo que autorizó su construcción y operación bajo las condiciones ambientales establecidas por la autoridad competente.

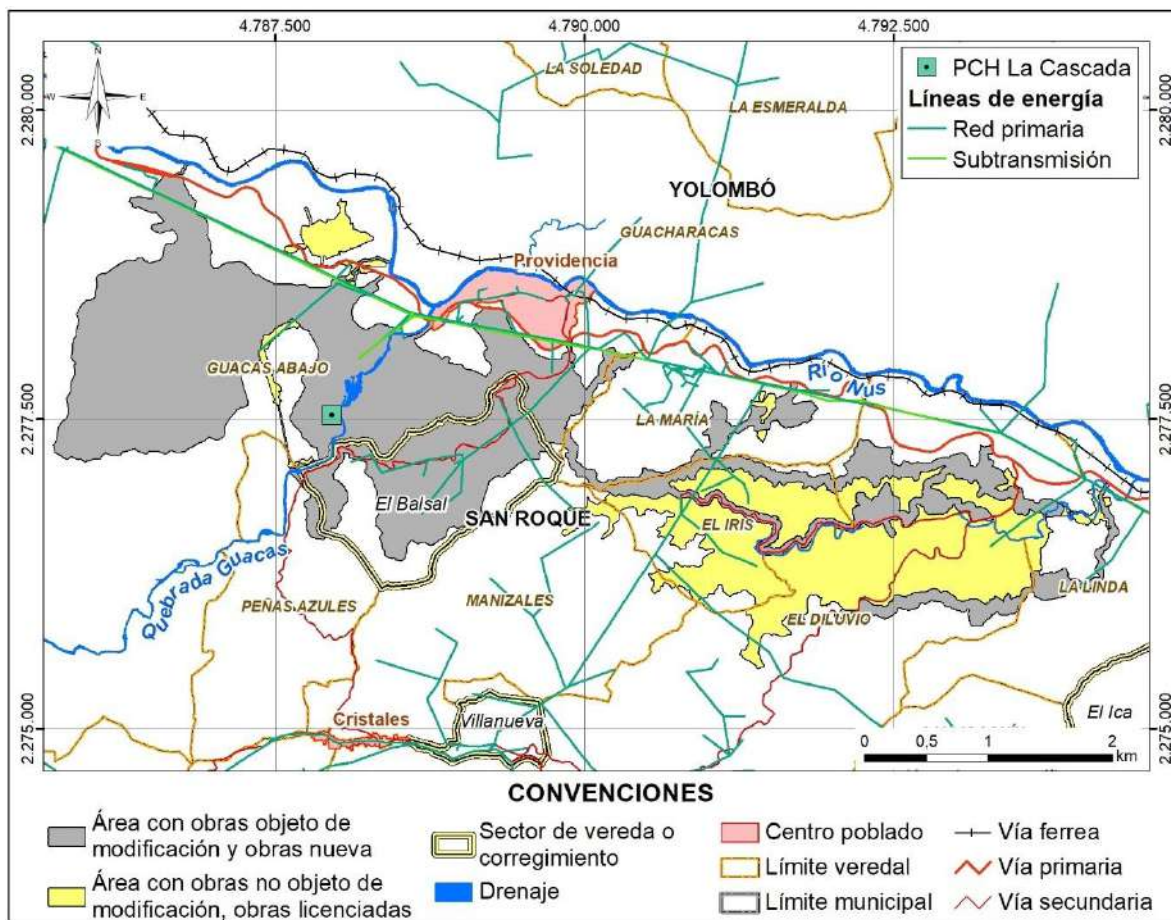


Figura 10.9 Redes eléctricas y Central Hidroeléctrica La Cascada, interceptadas por el proyecto.

Fuente: Integral S.A., 2025

IV. Polígonos de formalización minera

Al interior del título minero otorgado a Gramalote Colombia Limited mediante el Contrato Único de Concesión T14292011, se han desarrollado históricamente actividades de minería tradicional, principalmente asociadas a explotaciones de pequeña escala realizadas por mineros locales. Estas actividades han hecho parte de la dinámica productiva del territorio y han constituido una fuente relevante de sustento para comunidades asentadas en el área del proyecto.

En este contexto, Gramalote Colombia Limited ha venido adelantando procesos de formalización minera, orientados a integrar a los mineros tradicionales al marco legal vigente, promover prácticas técnicas y ambientales adecuadas, y garantizar condiciones seguras de operación. Dichos procesos se han implementado mediante la suscripción de contratos de operación minera, los cuales permiten regularizar la actividad extractiva, fortalecer las capacidades técnicas de los mineros y asegurar el cumplimiento de los lineamientos establecidos por la autoridad minera y ambiental.

Ver la Tabla 10.7 y Figura 10.10 donde se relacionan los proyectos mineros que actualmente se encuentran en proceso de formalización.

Tabla 10.7 Proyectos de formalización minera que se interceptan con el proyecto

Bloque	Sociedad	Autoridades
Limones 1	Sociedad Mineros Limones Gold S.A.S.	ANM - Cornare
Limones 2	Sociedad Minera Limones 2 S.A.S.	ANM - Cornare
Viboras 1	Sociedad Minera Viboras 1 S.A.S.	ANM - Cornare
Marsella Gold	Marsella Gold S.A.S.	ANM - Cornare

Fuente: Integral S.A., 2025

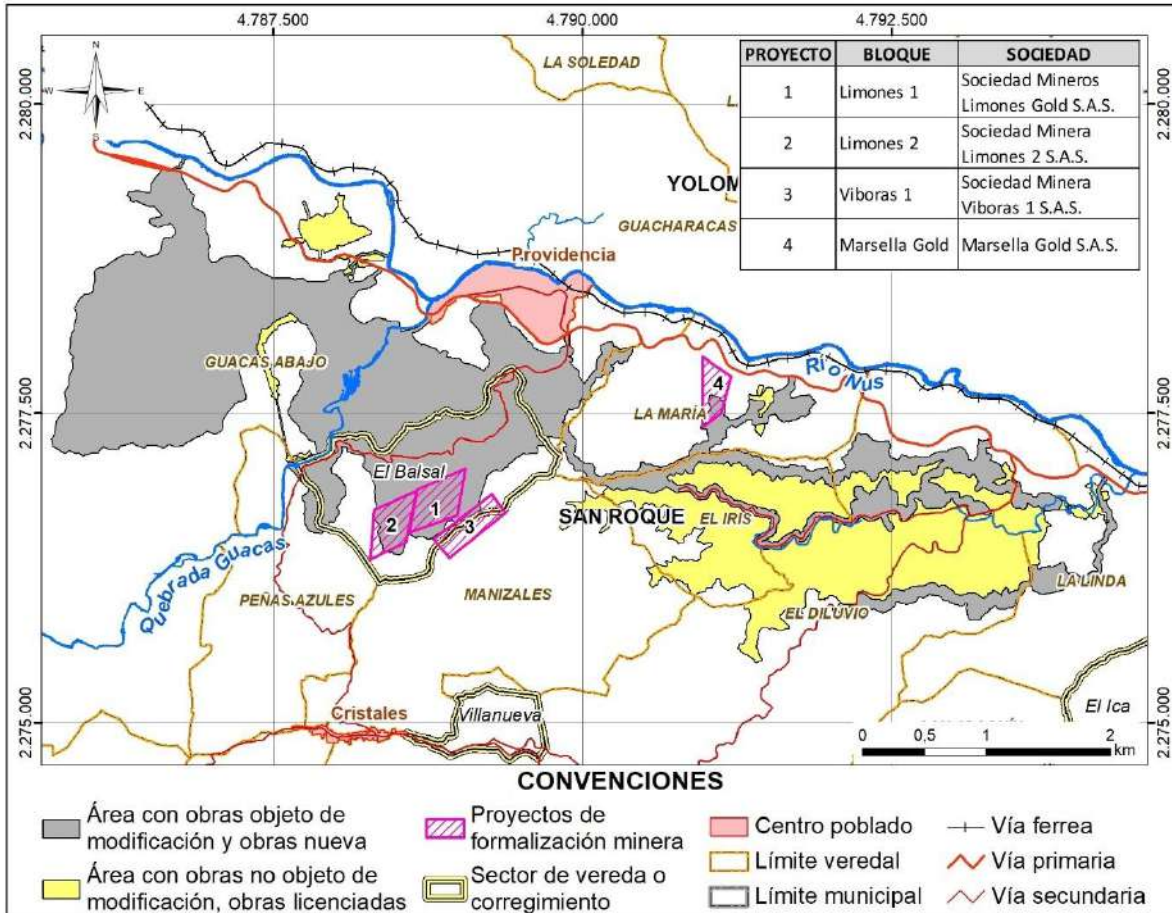


Figura 10.10 Proyectos de formalización minera que se interceptan con el proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

10.1.3.1.3 Contexto del proceso de Gestión del Riesgo (Criterios del riesgo)

A. Calificación de la amenaza

El nivel de amenaza se determina mediante el resultado de la zonificación de cada una de las amenazas, utilizando métodos de modelos matemáticos y modelos heurísticos que incluyen álgebra de mapas y la información recopilada de fuentes de información primarias y secundarias. En cada descripción de las amenazas se explican los métodos utilizados para determinar el nivel de amenaza. A partir de las amenazas zonificadas, se califican teniendo en cuenta los rangos definidos en la Tabla 10.8, lo que permite obtener el nivel de amenaza correspondiente.

Tabla 10.8 Calificación de amenazas

Nivel de la amenaza	Valor de la amenaza
Baja	1
Media	2

Nivel de la amenaza	Valor de la amenaza
Alta	3

Fuente: Integral S.A., 2025

B. Análisis de probabilidad

La probabilidad hace referencia a la posibilidad de que se materialice una amenaza en un periodo de tiempo determinado, en términos prácticos está asociada a la frecuencia con la cual ocurre dicho evento en un periodo fijo de tiempo; esta es determinada a partir de datos históricos, análisis específicos y/o el juicio de expertos.

La probabilidad está expresada en porcentaje de 0% a 100% dividido en 6 categorías, y contempla tanto la probabilidad de que se materialice el evento, como la probabilidad de que se den las consecuencias potenciales descritas previamente; esta evaluación se realiza asignándole a las amenazas un nivel de probabilidad en términos de dos escalas, la primera de ellas es probabilística (porcentaje), y la segunda es lingüística, tal como se muestra en la Tabla 10.9.

Tabla 10.9 Categorías de probabilidad para los eventos

Probabilidad	Porcentaje	<1%	1-33%	33-50%	50-60%	66-96%	96-100%
	Lingüístico	Casi Imposible	Muy Improbable	Improbable	Probable	Muy probable	Casi seguro
		L1	L2	L3	L4	L5	L6
Posibilidad durante la vida del proyecto							

Fuente: PGR_01_V1, 2019

Para aquellos escenarios de riesgo, cuya probabilidad está asociada a periodos de retorno de amenazas naturales, se realiza el análisis para los tiempos considerados dentro de la vida útil de las estructuras y su cálculo se lleva a cabo por medio de la Ecuación 10.1.3.1.

$$p = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^t \right) \times 100\%$$

Ecuación 10.1.3.1 Probabilidad de los eventos

Donde:

P = probabilidad

T = período de retorno

t = tiempo considerado

C. Valoración del riesgo

Se entiende como riesgo la magnitud probable o esperada de daños o pérdidas que pueden generarse en un periodo de tiempo específico, producto de la ocurrencia de un evento peligroso; es decir, que el riesgo es en función de las consecuencias en las personas, bienes materiales, recursos económicos y medio ambiente generadas en las áreas de afectación y la probabilidad de que las amenazas y/o las consecuencias potenciales se materialicen. Basado en lo anterior, la evaluación del riesgo se desarrolla mediante la “Matriz de evaluación y elaboración de informes de riesgo del grupo AGA” (AngloGold Ashanti, 2015), la cual según la calificación a las consecuencias y a la probabilidad

establece el índice de riesgo, éste oscila entre 1 y 36 indicando que a mayor índice la “magnitud” del riesgo será exponencialmente mayor.

Para evaluar el riesgo, se establece y califica la probabilidad de ocurrencia de cada evento o materialización de cada escenario de riesgo y se califican las consecuencias para cada uno de los escenarios, inicialmente calificando el impacto o consecuencia individual, ambiental, social y económico mediante un análisis independiente y posteriormente se realiza la calificación del riesgo general para cada escenario tomando el valor mayor de las consecuencias calificadas y la probabilidad determinada. Estas evaluaciones se realizan a cada uno de los escenarios de riesgo identificados a través de la integración de las variables de probabilidad y consecuencias por medio de la matriz; es importante anotar que en el análisis para determinar probabilidad y consecuencia se consideran las medidas preventivas y de control diseñadas e implementadas en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote; de acuerdo con la calificación de probabilidad y consecuencia se determina un índice de riesgo como se presenta en la Tabla 10.10.

Tabla 10.10 Matriz de calificación del Riesgo

		Calificación del Riesgo (índice de Riesgo)					
Consecuencias	C6 - Extremo	(-21)	(-30)	(-32)	(-34)	(-35)	(-36)
	C5 - Mayor	(-17)	(-27)	(-28)	(-29)	(-31)	(-33)
	C4 - Alto	(-14)	(-22)	(-23)	(-24)	(-25)	(-26)
	C3 - Moderado	(-8)	(-15)	(-16)	(-18)	(-19)	(-20)
	C2 - Menor	(-2)	(-9)	(-10)	(-11)	(-12)	(-13)
	C1 - Insignificante	(-1)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	(-7)
		L1 – Casi Imposible)	L2 – Muy Improbable	L3 - Improbable	L4 – Probable	L5 – Muy probable	L6 – Casi seguro
		<1%	1-33%	33-50%	50-60%	66-96%	96-100%
		Probabilidad durante la vida del proyecto					

Fuente: Integral S.A., 2025 (Adaptado de AngloGold Ashanti Group Risk Assessment and Reporting Matrix, 2015)

A partir de los resultados de la matriz de calificación del riesgo se definen el índice de riesgo y el umbral del riesgo tal como se describe en la Tabla 10.11.

Tabla 10.11 Índice de Riesgo

Índice de riesgo	Umbral de riesgo	Nivel de riesgo
Rojo (-31 a -36)	Excede significativamente el umbral – Acción	Alto
Naranja (-25 a -30)	Excede el umbral –Gestión proactiva	Medio
Amarillo (-16 a -24)	Umbral del riesgo – Gestión activa	

Índice de riesgo	Umbral de riesgo	Nivel de riesgo
-24)		
Azul (-9 a -15)	Por debajo del umbral de riesgo – Gestión rutinaria	Bajo
Verde (-1 a -8)	Muy por debajo del umbral de riesgo - Gestión rutinaria	

Fuente: Integral S.A., 2025 (Adaptado de AngloGold Ashanti Group Risk Assessment and Reporting Matrix, 2015)

A pesar de que para algunos riesgos no se puede calcular de manera exacta (matemática) cual es la probabilidad de que ocurran, la evaluación del riesgo por esta metodología es una base para determinar las medidas de atención y prevención que se deben contemplar en el Plan de Contingencia, con el fin de evitar la generación de nuevas condiciones de vulnerabilidad y reducir el riesgo.

Los resultados de las valoraciones obtenidas para cada escenario de riesgo se presentan en el Anexo_PGR_Valoracion_Riesgos y el proceso de identificación, análisis y valoración que llevaron a ese resultado se describe en los siguientes apartes.

D. Criterios de análisis del riesgo para el sector La María por depósitos R, Torito

La evaluación del riesgo por movimientos en masa asociados a la posible falla de los depósitos R y El Torito, 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.

a. Evaluación de la estabilidad geotécnica

La estabilidad física de los depósitos R y Torito, fue evaluada mediante análisis de equilibrio límite que constan en 5_1_7_GEOTECNIA a partir de los cuales se determinó el factor de seguridad FS, considerando varios escenarios dentro de los cuales se resaltan tres representativos de carga que permiten incorporar las condiciones operacionales y ambientales que pueden actuar como detonantes de una falla.

Los escenarios analizados corresponden a:

- Condición estática o de operación normal.
- Condición de precipitación de diseño evaluada con un período de retorno de 20 años.
- Condición sísmica de diseño con período de retorno de 475 años.

Con el propósito de incorporar la incertidumbre inherente a las propiedades geotécnicas de los materiales constitutivos de los depósitos, se realizaron análisis probabilísticos considerando la variabilidad estadística de los parámetros resistentes (cohesión, ángulo de fricción y demás propiedades relevantes). Durante del uso del software Slide de Rocscience, se optó por el método de hipercubo latino que optimiza el proceso de análisis con Monte Carlo, tal y como descrito en los criterios de diseño geotécnicos. Estos análisis permitieron estimar la Probabilidad de Falla (P_f), definida como la probabilidad de obtener un Factor de Seguridad inferior a la unidad ($FS < 1$).

Los detalles de los análisis de estabilidad se encuentran en el Numeral 5_1_7_GEOTECNIA y su anexo de memoria de cálculo.

b. Evaluación de la amenaza

La amenaza fue estimada siguiendo los procedimientos establecidos en (Servicio Geológico Colombiano, 2016) para estudios en escala de detalle. El paso a paso se resume a continuación:

La probabilidad anual de falla se obtuvo a partir de la combinación de (multiplicación, al ser eventos independientes):

- la probabilidad de falla obtenida mediante los análisis probabilísticos de estabilidad, al aplicar los métodos de equilibrio límite PF_{Slide} ; y
- la frecuencia anual de ocurrencia de cada evento detonante (lluvia y sismo), definida a partir de los respectivos períodos de retorno (Tr), es decir, $1/Tr$.

$$P_{anual} = PF_{Slide} * 1/Tr$$

Ecuación 10.1.3.2 Probabilidad de falla anual de un talud

También se informará la probabilidad de falla p por toda la vida útil ($t=50$ años) multiplicando la probabilidad de ocurrencia del evento detonante (lluvia y sismo) durante dicho periodo según la Ecuación 10.1.3.1, por la probabilidad de falla obtenida mediante los análisis probabilísticos de la estabilidad utilizando el método de equilibrio límite.

$$P_{vida\ útil} = PF_{Slide} * p$$

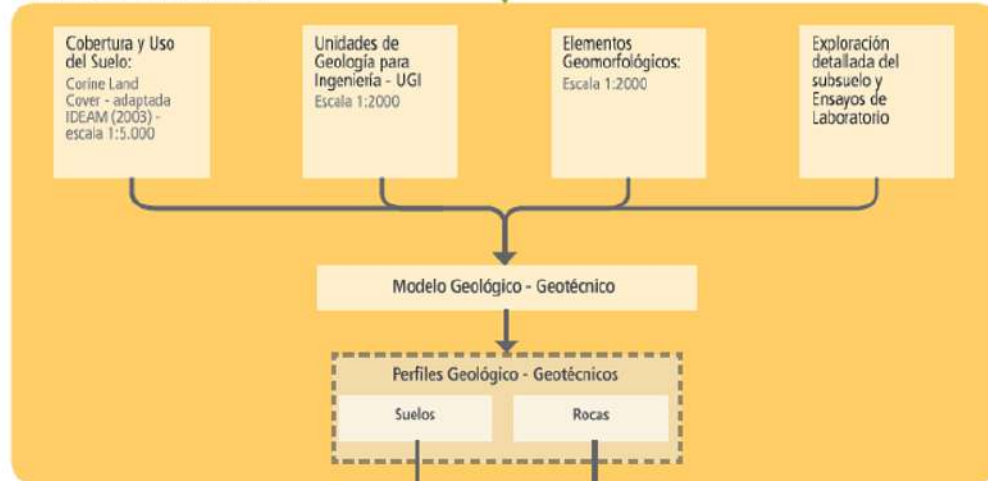
Ecuación 10.1.3.3 Probabilidad de falla de un talud en toda la vida útil

La integración de ambos componentes permitió establecer el correspondiente nivel de amenaza de acuerdo con las categorías definidas por el SGC y la matriz corporativa de AngloGold Ashanti. La Figura 10.11 muestra la clasificación de la amenaza basada en la probabilidad anual de falla para estudios a escala detallada indicada por el (Servicio Geológico Colombiano, 2016). De manera complementaria, la Tabla 10.12 resume los rangos empleados para clasificar la amenaza en función de dicha probabilidad anual. La escala para establecer el nivel de amenaza según la matriz del proyecto se encuentra en la Tabla 10.10.

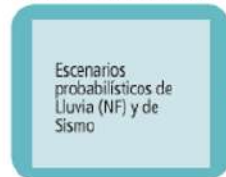
INSUMOS



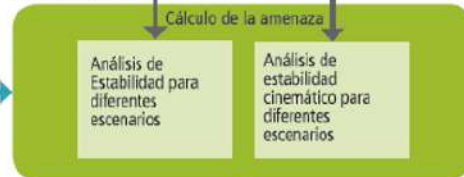
FACTORES CONDICIONANTES



FACTORES DETONANTES



MODELACIÓN



RESULTADOS

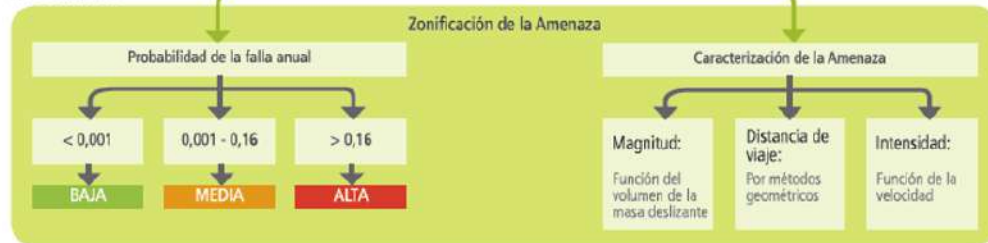


Figura 3-5. Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa a escala 1:2000.

Figura 10.11. Evaluación de la amenaza según SGC en términos de probabilidad de falla anual para estudios en escala detallada 1:2000
Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Tabla 10.12. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD ANUAL DE FALLA
Baja	$< 0,001$
Media	$0,001 - 0,16$
Alta	$> 0,16$

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

c. Estimación del volumen movilizado

Para las tres superficies críticas de falla identificadas mediante los análisis de estabilidad por obra, se estimaron sus respectivas áreas y centroides. El volumen susceptible de movilizarse fue estimado mediante la extrapolación tridimensional de dicha área de cada superficie de falla, utilizando la longitud promedio del depósito en planta.

d. Modelación del alcance del movimiento

La delimitación del área potencialmente afectada por el material movilizado se realizó mediante las relaciones empíricas propuestas por el (Servicio Geológico Colombiano, 2016). Para este análisis se revisaron los autores citados en dicha referencia y se identificó que los métodos más adecuados corresponden a los propuestos por (Hunter & Fell, 2003). Este método también es recomendado para el análisis de depósitos mineros por (Hawley & Cuning, 2017).

El modelo analítico para estimar la longitud de viaje del deslizamiento, L , se resume en la Figura 10.12 y en la Ecuación 10.1.3.6. Este modelo considera la altura desde la cual se desprende el deslizamiento, H , así como la configuración geomorfológica del valle. En el método de (Hunter & Fell, 2003), el ángulo α se estima mediante un proceso iterativo que permite obtener una relación L/H coherente con la geomorfología del área localizada aguas abajo de la pata del depósito ZODME o del lleno objeto de análisis.

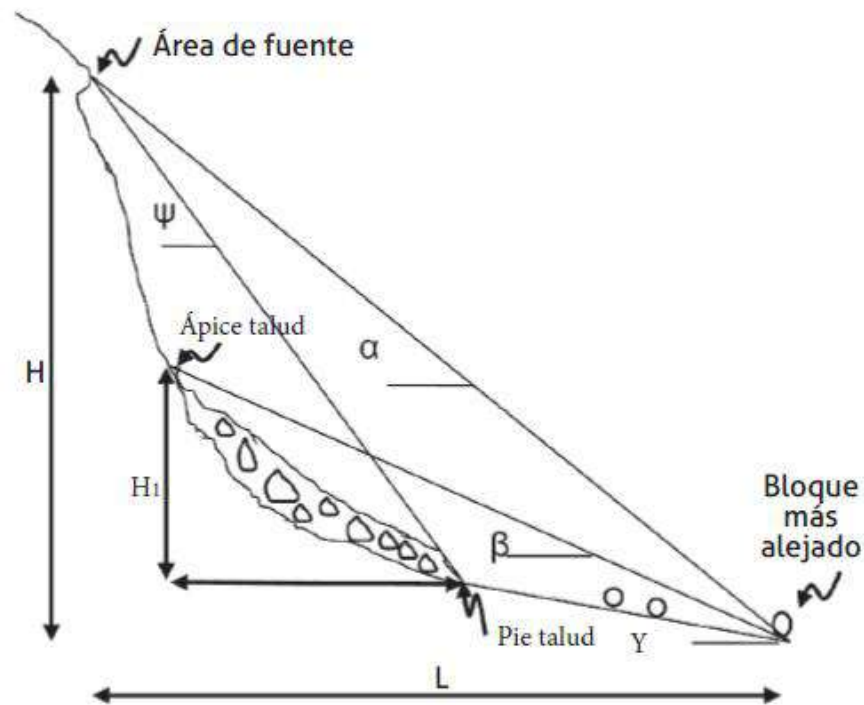


Figura 3-10. Variables geométricas para definir la distancia de viaje de un deslizamiento.

Fuente: Hungr et al., 2005.

Figura 10.12. Concepto geométrico para la aplicación del método de Hunter y Fell 2003

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Existen diversas referencias que citan los trabajos de (Hunter & Fell, 2003), cuya ecuación de regresión relaciona la razón H/L con $\tan \alpha_2$ (o $\tan \alpha$) y presenta la siguiente forma general:

$$\frac{H}{L} = A \tan \alpha_2 + B$$

Ecuación 10.1.3.4 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (forma general)

Los coeficientes A y B se obtienen mediante regresiones lineales ajustadas a la forma general de la ecuación, a partir de registros de deslizamientos ocurridos en los que se conocen parámetros como H, L, entre otros. A partir de este procedimiento se han desarrollado diversas ecuaciones basadas en (Hunter & Fell, 2003).

En este contexto, se compararon los valores de L estimados mediante las ecuaciones originales propuestas por (Hunter & Fell, 2003) con el ajuste planteado por (Hawley & Cuning, 2017) para depósitos mineros. Las ecuaciones originales de (Hunter & Fell, 2003) son las siguientes:

$$\frac{H}{L} = 0,77 \tan \alpha_2 + 0,087 \quad (SE = 0,095, R^2 = 0,71)$$

Ecuación 10.1.3.5 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos sin confinar)

$$\frac{H}{L} = 0,69 \tan \alpha_2 + 0,086 \quad (SE = 0,110, R^2 = 0,52)$$

Ecuación 10.1.3.6 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos parcialmente confinados)

$$\frac{H}{L} = 0,54 \tan \alpha_2 + 0,147 \quad (SE = 0,027, R^2 = 0,85)$$

Ecuación 10.1.3.7 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos confinados)

La variación propuesta por (Hawley & Cuning, 2017) se presenta en la Ecuación 10.1.3.8, la cual fue ajustada para depósitos mineros conformados por suelos grueso-granulares y asociados a diferentes tipos de movilidad, incluida la susceptibilidad a la licuación.

$$\frac{H}{L} = 0,54 \tan \alpha_2 + 0,16 \quad (SE = 0,068, R^2 = 0,37)$$

Ecuación 10.1.3.8 Correlación entre H/L y $\tan \alpha_2$ (deslizamientos en depósitos de minería grueso granulares con diferentes tipos de movilidad)

Al comparar los resultados obtenidos mediante la Ecuación 10.1.3.6 y Ecuación 10.1.3.8, se determinó que la primera proporciona valores más conservadores para la longitud de viaje L. Longitudes con valores intermedios entre los dos escenarios anteriores pueden estimarse a partir de la variación de (Hunter & Fell, 2003) presentada por el (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Por lo anterior, la representación en planta de los polígonos asociados a la distancia de viaje del deslizamiento se realizó con base en los resultados conservadores obtenidos mediante la 10.1.3.6. Para el caso de Gramalote, se seleccionó la condición parcialmente confinada, considerando que la geomorfología del sector aguas abajo de cada depósito corresponde a una vaguada con lomos intermedios dentro de la posible trayectoria del deslizamiento potencial.

Por otra parte, para validar la intensidad se empleó el método del bloque deslizante. Este método representa el deslizamiento como el movimiento de un bloque rígido sobre una superficie curva, considerando una resistencia friccional constante. Su formulación se basa en la aplicación de las leyes de Newton para analizar el comportamiento dinámico del bloque a lo largo de su trayectoria. Las ecuaciones resultan de la interpretación de la Figura 10.13 y se presentan a continuación.

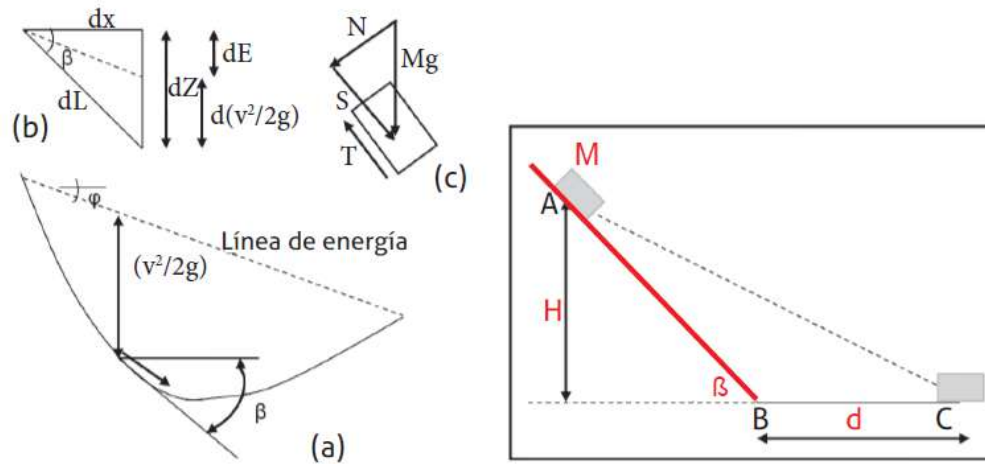


Figura 3-11. Bloque deslizando, consideraciones dinámicas. a) Perfil de la trayectoria. b) Geometría local del contacto. c) Diagrama de fuerzas. d) Planteamiento del problema.
Fuente: Yue, 2014.

Figura 10.13. Concepto geométrico para la aplicación del método del bloque deslizando
Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

$$\begin{cases} Mg \sin \beta - Mg \cos \beta \tan \phi = Ma(t) \text{ de A hasta B} \\ -Mg \tan \phi_p = Ma(t) \text{ de B hasta C} \end{cases}$$

Ecuación 10.1.3.9 Relación de leyes de Newton (Yue, 2014)

Donde:

M es la masa deslizada y g la aceleración de la gravedad.

β es la inclinación del terreno.

ϕ es el ángulo de fricción interna en el talud (A-B).

ϕ_p es el ángulo de fricción interna en la zona plana (B-C).

$a(t)$ es la aceleración desarrollada por la masa.

$$V_{AB} = \sqrt{2Hg \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \right)}$$

Ecuación 10.1.3.10 Velocidad desarrollada por la maza mientras baja por el tramo A-B

Asumiendo que no hay pérdidas de energía a causa del impacto en el punto B, debido al cambio de pendiente, cambiando la dirección de la velocidad, la distancia de viaje d y el ángulo de viaje desde A hasta C están dados por

$$d = \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta}\right) \frac{H}{\tan \phi_p}$$

Ecuación 10.1.3.11 Distancia de viaje desde el punto B

$$\tan \alpha = \frac{\tan \beta \tan \phi_p}{\tan \beta + \tan \phi_p - \tan \phi}$$

Ecuación 10.1.3.12 Angulo de viaje desde el punto A hasta el punto C

Y la velocidad en el tramo B-C puede determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$V_{BC}^2 = V_B^2 - 2g \tan \phi_p d$$

Ecuación 10.1.3.13 Velocidad desarrollada por la masa en el tramo B-C

Para el cálculo mediante el método del bloque deslizante se realizó un análisis de sensibilidad, considerando que los materiales de los ZODME estarán constituidos principalmente por mezclas de suelos tipo ML, SM y GM. Para estos materiales, en el numeral 5_1_7_GEOTECNIA se adoptó un ángulo de fricción de diseño de 30° bajo condiciones adecuadas de compactación. Sin embargo, ante un escenario de falla inducido por un evento sísmico, dichos materiales podrían movilizarse con grados de compactación inferiores a los considerados en el diseño. En consecuencia, para el escenario de falla por sismo se consideraron ángulos de fricción inferiores, del orden de 25°.

Asimismo, si la falla ocurre bajo condiciones de saturación parcial asociadas a eventos de lluvia y con una compactación inferior a la prevista en diseño, se espera que el material alcance ángulos de fricción comprendidos entre 20° y 25°. Cabe resaltar que el proyecto contempla la implementación de sistemas de subdrenaje y drenaje superficial en todas las obras, lo cual limitará los niveles de saturación en los llenos y reducirá la probabilidad de desarrollo de las condiciones más desfavorables de resistencia. En consecuencia, para el método del bloque deslizante se evaluó el ángulo de fricción en el rango de 20° a 25°:

- Escenario mínimo: ángulo de fricción de 20°.
- Escenario medio: ángulo de fricción de 22,5°.
- Escenario máximo: ángulo de fricción de 25°.

Como resultado del análisis, para los cálculos con el método del bloque deslizante se presentan las velocidades correspondientes al ángulo de fricción mínimo de 20°, ya que esta condición maximizó dicho parámetro y representa un enfoque conservador.

Finalmente, las longitudes de recorrido obtenidas mediante el método de (Hunter & Fell, 2003) se representaron espacialmente en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ajustando las manchas de derrumbe a la topografía disponible para el área de estudio y a la pendiente del terreno natural. Este resultado constituye la base espacial para la posterior identificación de elementos expuestos y la evaluación de la vulnerabilidad por exposición.

Para cada escenario, el polígono de afectación se ajustó a la topografía del terreno mediante las curvas de nivel, cerrando lateralmente la geometría del depósito desde el ápice o punto de desprendimiento. Esta delimitación buscó mantener coherencia con la

morfología del valle y con el volumen estimado del material movilizado, procurando que el área en planta y las cotas de cierre representaran adecuadamente el volumen calculado.

e. Evaluación de la Vulnerabilidad por exposición

Las manchas de derrumbe obtenidas en el paso anterior de análisis por cada obra y para los tres escenarios de condición normal, sismo y precipitación de diseño, fueron superpuestas sobre la cartografía GDB base del proyecto y la ortofoto de 2023, con el fin de identificar los elementos potencialmente expuestos.

Cada elemento expuesto de la infraestructura física fue clasificado de acuerdo con las escalas de vulnerabilidad propuestas por el Servicio Geológico Colombiano, considerando el grado esperado de afectación sobre edificaciones, líneas vitales y personas ante la posible ocurrencia del movimiento en masa, mostrado en la Tabla 10.13 y Tabla 10.14.

La Tabla 10.13 presenta la escala para evaluar los daños esperados en edificaciones y líneas vitales, mientras que la Tabla 10.14 resume la clasificación de la vulnerabilidad para personas. En la calificación final se consideran ambos aspectos, dando prioridad a la condición más crítica cuando exista potencial afectación a vidas humanas

Tabla 10.13. Escala para evaluar los daños esperados en edificaciones y líneas vitales

Clasificación de la vulnerabilidad	Edificaciones	Red vial	Redes de acueducto y alcantarillado	Redes eléctricas y de telecomunicaciones
ALTA	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.	Rotura inminente de las tuberías. Interrupción del servicio. Es necesario reconstruir el tramo de la red.	Los postes son derribados o fragmentados. Las líneas de tensión se ven afectadas y se interrumpe el servicio.
MEDIA	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.	Las tuberías se afectan e incluso se pueden romper. El servicio se ve disminuido. Es necesario reparar la red luego del evento.	Los postes son alcanzados por la masa deslizada, induciendo desplazamientos o inclinaciones en los postes sin comprometer las líneas de tensión y sin interrumpir el servicio.

Clasificación de la vulnerabilidad	Edificaciones	Red vial	Redes de acueducto y alcantarillado	Redes eléctricas y de telecomunicaciones
BAJA	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos.	No existe material sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos.	Las tuberías se desplazan levemente, sin sufrir daños y sin afectar el servicio.	Los postes no son alcanzados por la masa del deslizamiento o son alcanzados con una energía de impacto baja que no les induce desplazamientos o daños.
	Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.			

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Tabla 10.14. Clasificación de la vulnerabilidad para personas

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ALTA	0,5–1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA	0,2–0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA	0–0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Adicionalmente, para aplicar el método de calificación indicado antes también se tuvo en cuenta el criterio de la posición de la infraestructura física respecto al movimiento siguiendo indicado por (Servicio Geológico Colombiano, 2016) y que se retoma en Figura 10.14 y Tabla 10.15. La Figura 10.14 ilustra la distribución espacial de dichas zonas frente al movimiento, mientras que la Tabla 10.15 resume los escenarios de exposición empleados. Para los propósitos de este estudio, los criterios directores para catalogar infraestructura en la Tabla 10.15 dentro de la zona 2 fueron una velocidad rápida del deslizamiento (según los cálculos del bloque deslizante) y para la zona 3 la distancia de viaje del deslizamiento estimada con (Hunter & Fell, 2003).

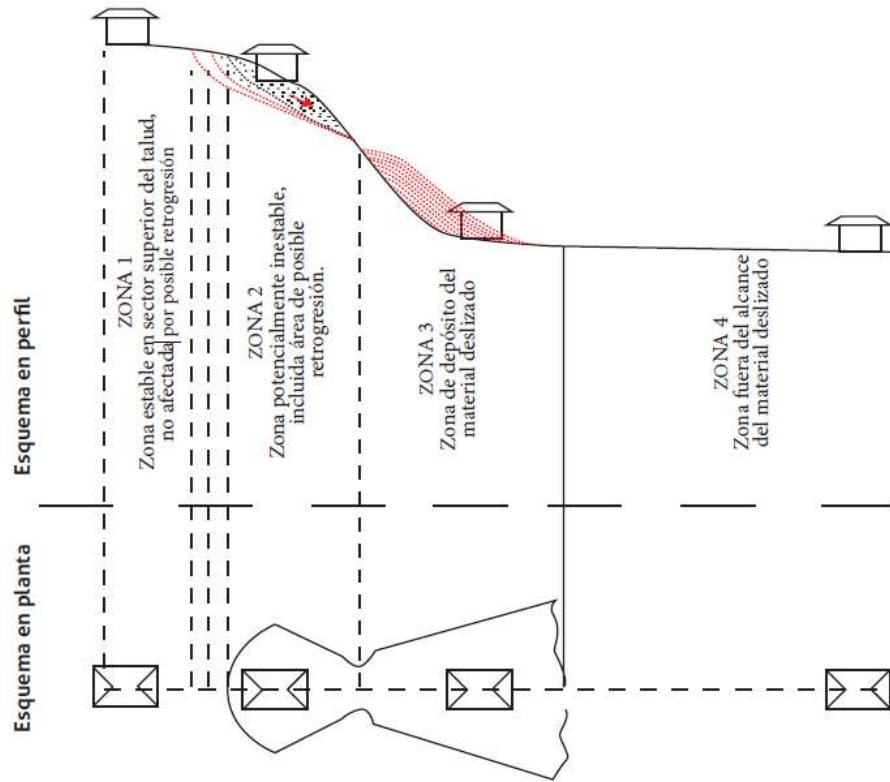


Figura 4-2. Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.

Figura 10.14. Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Tabla 10.15. Zonas o escenarios de exposición

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento; Actividad del deslizamiento; Cantidad de desplazamiento; Desplazamientos verticales.

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento; Distancia de viaje; Presiones laterales; Impactos (volúmenes y energía cinética); Alturas de acumulación de material.
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

Fuente: Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

f. Aspectos ambientales y socioeconómicos

El análisis del riesgo para los componentes ambiental y socioeconómico se desarrolló mediante la identificación de los elementos expuestos potencialmente afectados por los escenarios de falla modelados para el depósito, seguida de la evaluación de su nivel de exposición frente a la trayectoria estimada del movimiento en masa.

Para el componente ambiental, se consideraron como elementos expuestos aquellos que, por sus características ecológicas y funcionales, prestan servicios ecosistémicos o cumplen funciones de conservación dentro del área de influencia del proyecto. La identificación de estos elementos se realizó a partir de la cartografía temática del Estudio de Impacto Ambiental, considerando principalmente:

- Fuentes hídricas y sus respectivas rondas hídricas.
- Coberturas de bosque denso.
- Bosques de galería o riparios.
- Vegetación secundaria alta.
- Vegetación secundaria baja asociada a suelos con uso de sistemas forestales protectores.

Por su parte, el componente socioeconómico comprendió aquellos elementos relacionados con el aprovechamiento económico del territorio y la generación de medios de vida para la población local. Su identificación se efectuó mediante la información de uso actual del suelo y la caracterización socioeconómica del área de influencia, incluyendo principalmente:

- Cultivos permanentes y transitorios.
- Áreas destinadas a la ganadería (potreros).
- Trapiches y demás infraestructura asociada a la producción agropecuaria.

Una vez identificados los elementos expuestos, se determinó su nivel de exposición mediante el análisis espacial entre la localización de dichos elementos y los polígonos correspondientes a las trayectorias de viaje obtenidas en la modelación de los escenarios de falla (condición estática, pseudoestática y de nivel freático extremo).

La clasificación de la exposición se estableció con base en el grado de interacción espacial entre los elementos expuestos y las zonas potencialmente afectadas por la trayectoria del deslizamiento, definiéndose tres niveles: alto, medio y bajo. Esta clasificación constituye el insumo para la posterior valoración de la vulnerabilidad de los componentes ambiental y socioeconómico.

Tabla 10.16 Criterios para la clasificación de la exposición de los elementos ambientales y socioeconómicos

Nivel de exposición	Criterio metodológico
Alta	El elemento expuesto se superpone total o parcialmente con la trayectoria de viaje del deslizamiento modelado, por lo que presenta una alta probabilidad de resultar afectado en caso de materializarse el escenario de falla.
Media	El elemento expuesto se localiza en áreas adyacentes a la trayectoria del deslizamiento, sin presentar superposición directa, pero con posibilidad de afectación indirecta asociada a procesos secundarios como depósito de material, escorrentía, erosión o ampliación del área afectada.
Baja	El elemento expuesto se ubica por fuera de la trayectoria estimada del deslizamiento y de su zona de influencia potencial, por lo que la probabilidad de afectación derivada del escenario de falla es baja.

Fuente: Integral S.A., 2026.

g. Evaluación del riesgo

El nivel de riesgo fue determinado mediante la integración del nivel de amenaza y el nivel de vulnerabilidad, siguiendo la metodología establecida por el Servicio Geológico Colombiano para movimientos en masa. Esta integración retoma los resultados de amenaza descritos previamente y la clasificación de vulnerabilidad definida a partir de los elementos expuestos.

En primer lugar, se retomaron los resultados del análisis de amenaza obtenidos para los escenarios de falla modelados, los cuales incorporan tanto la probabilidad de ocurrencia del evento como el comportamiento esperado del movimiento en masa bajo las condiciones estática, pseudoestática y de nivel freático extremo.

Posteriormente, estos resultados se integraron con el análisis de vulnerabilidad desarrollado para los elementos expuestos de los componentes físico, ambiental y socioeconómico. En el caso de los componentes físico, ambiental y socioeconómico, la metodología propuesta adapta el enfoque del Servicio Geológico Colombiano mediante la incorporación de una clasificación de vulnerabilidad basada en el nivel de exposición espacial de los elementos identificados. Para ello, los niveles de vulnerabilidad obtenidos (alta, media y baja) fueron homologados con la clasificación de consecuencias utilizada en la metodología corporativa de gestión del riesgo del Proyecto Gramalote, estableciendo la equivalencia presentada en la Tabla 10.17.

Tabla 10.17. Homologación de escalas para calificar la vulnerabilidad por exposición

Vulnerabilidad por exposición en SGC	Consecuencia en Anglo Gold Ashanti	Justificación
Alta	Mayor	El elemento expuesto presenta superposición directa con la trayectoria de viaje del deslizamiento, por lo que existe una alta probabilidad de afectación y de generación de consecuencias significativas sobre el componente evaluado.
Media	Moderada	El elemento expuesto se localiza en áreas adyacentes a la trayectoria del deslizamiento, con posibilidad de afectaciones indirectas o parciales que pueden requerir medidas de recuperación o rehabilitación.
Baja	Baja	El elemento expuesto se encuentra por fuera de la trayectoria estimada del deslizamiento y de su zona de influencia potencial, por lo que las consecuencias esperadas son limitadas o poco significativas.

Fuente: Integral S.A., 2025

Esta adaptación permite que las consecuencias asociadas a la afectación de ecosistemas, recursos naturales, infraestructura productiva y demás elementos de carácter socioeconómico sean incorporadas dentro del mismo esquema metodológico empleado para la valoración del riesgo físico, manteniendo la consistencia en la evaluación integral de los escenarios de falla.

Una vez obtenida la equivalencia entre los niveles de vulnerabilidad y las categorías de consecuencias, el riesgo fue expresado utilizando la matriz corporativa de valoración de riesgos de AngloGold Ashanti, herramienta empleada por el Proyecto Gramalote para la gestión integral de riesgos. Esta homologación garantiza la compatibilidad entre los resultados del análisis geotécnico y los criterios corporativos de toma de decisiones, facilitando la integración de los resultados dentro del Sistema de Gestión de Riesgos del proyecto y del presente Estudio de Impacto Ambiental.

En relación con la probabilidad de ocurrencia, los análisis de estabilidad y los escenarios de falla evaluados para los depósitos R y El Torito indican una probabilidad baja de ocurrencia. En consecuencia, esta condición fue homologada con la categoría L2 – Muy improbable (1 %–33 %) de la matriz corporativa de valoración del riesgo de AngloGold Ashanti, conservando la equivalencia entre la clasificación técnica obtenida durante el análisis geotécnico y el sistema corporativo de gestión del riesgo.

E. Criterios de análisis del riesgo por componente

Para efectos de la presente metodología, el nivel de riesgo se clasifica en tres categorías cualitativas: alto, medio y bajo, que reflejan la magnitud de las posibles consecuencias derivadas de la materialización de una amenaza sobre los componentes analizados. Esta clasificación se fundamenta en la guía metodológica para desarrollar análisis y evaluación del riesgo de desastres del departamento Nacional de Planeación – DNP (DPN, 2020), el Manual para la evaluación de daños y pérdidas (CEPAL, 2014) y la norma ISO 31010:2019, las cuales recomiendan la utilización de escalas cualitativas para la valoración integrada del riesgo cuando no se dispone de datos cuantitativos de alta resolución.

El análisis se realiza de manera diferenciada para los componentes ambiental, social, socioeconómico e individual, con el fin de identificar de forma integral los efectos potenciales del riesgo de desastres en el territorio y en la población. Los criterios definidos para cada componente se presentan en la Tabla 10.18.

Tabla 10.18 Criterios de niveles de riesgo por componente

Nivel de Riesgo	Componente Ambiental	Componente social	Componente Socioeconómico	Componente Individual
Bajo	Afectaciones leves y reversibles en el ambiente. No compromete hábitats ni servicios ecosistémicos. Requiere acciones básicas de control y monitoreo	Alteraciones mínimas en la convivencia o estructura comunitaria. Las capacidades locales permiten atender la situación.	Pérdidas económicas menores sin afectar la funcionalidad de las actividades productivas o de servicios.	Lesiones leves o molestias temporales sin hospitalización. No hay víctimas fatales.
Medio	Deterioro moderado de ecosistemas o recursos naturales, con afectaciones parcialmente reversibles. Requiere medidas de mitigación y seguimiento.	Disminución de la cohesión social o conflictos temporales. Requiere acompañamiento institucional o comunitario.	Interrupción temporal de servicios o daños parciales en infraestructura. Pérdidas económicas recuperables a corto plazo.	Lesiones que requieren hospitalización. Posibles víctimas aisladas.
Alto	Daño ambiental severo o irreversible. Pérdida de cobertura vegetal, contaminación persistente o	Ruptura del tejido social, desplazamientos o pérdida de liderazgo comunitario. Requiere respuesta	Colapso o suspensión prolongada de servicios esenciales. Pérdidas económicas	Múltiples heridos graves o víctimas fatales. Emergencia que desborda la capacidad local de respuesta.

Nivel de Riesgo	Componente Ambiental	Componente social	Componente Socioeconómico	Componente Individual
	alteración de hábitats sensibles.	institucional urgente.	significativas o crisis sectorial.	

Fuente: Integral S.A., 2025

F. Definición de área de análisis o área de probable afectación

El análisis de riesgo y las zonificaciones de amenaza, consecuencias y riesgo se desarrollan sobre el área de influencia abiótica de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Esta área se toma como referencia para determinar la zona de probable afectación por riesgos y los elementos expuestos dentro de ella.

El área de influencia abiótica, definida en la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote comprende tanto las características físicas del terreno como los componentes ambientales susceptibles de ser impactados por los diferentes escenarios de riesgo asociados al proyecto.

De esta manera, se adopta el área de influencia abiótica como la zona representativa de posible afectación por riesgos tal como se observa en la Figura 10.15, al integrar información física, ambiental y social que permite reflejar de forma más completa las condiciones del entorno donde podrían manifestarse los impactos.

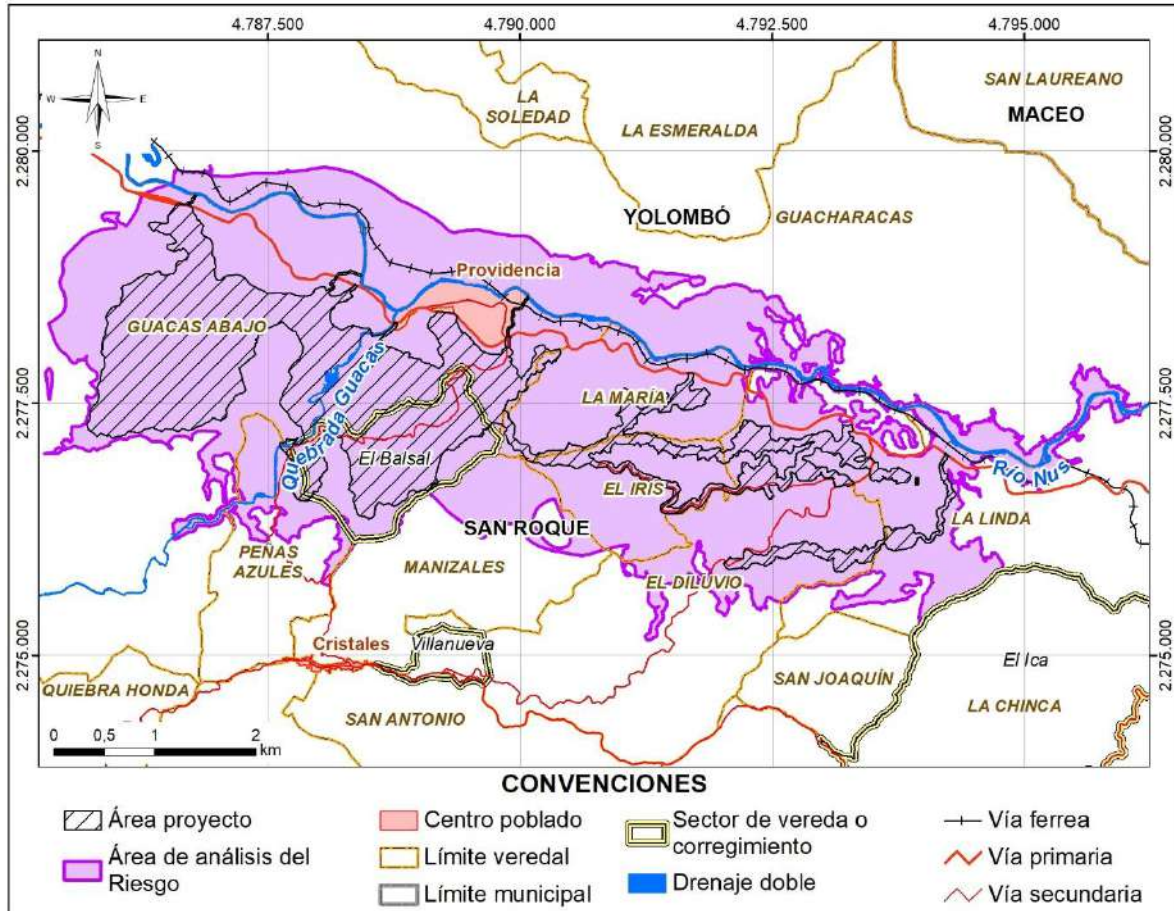


Figura 10.15 Definición del área de análisis del Riesgo

Fuente: Integral S.A., 2025

Es importante destacar que en la sección de Identificación de eventos amenazantes (Escenarios) se desarrolló la zonificación de las amenazas, a partir de la cual se establecieron niveles de amenaza alta, media y baja, en función de la probabilidad de ocurrencia y la intensidad esperada de los eventos. Esta zonificación constituye el insumo para la delimitación espacial de las áreas potenciales de afectación, en la medida en que las zonas clasificadas con amenaza alta y media representan los sectores donde, ante la materialización de un escenario de riesgo, podrían presentarse efectos directos sobre los elementos expuestos, y por tanto se asocian funcionalmente con el concepto de área de afectación directa. Por su parte, las zonas con amenaza baja o sin calificación de amenaza corresponden a áreas donde los efectos serían secundarios, atenuados o poco probables, y se asocian con el concepto de área de afectación indirecta. De esta manera, la zonificación de amenazas permite integrar y representar espacialmente las áreas de afectación directa e indirecta, garantizando coherencia metodológica y evitando la duplicidad de delimitaciones espaciales.

10.1.3.1.4 Identificación de eventos amenazantes (Escenarios)

Según la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, una amenaza se define como el riesgo latente de que ocurra un evento físico, ya sea de origen natural, socio natural, humano no intencional, tecnológico, biológico, o causado accidentalmente por la acción humana, con suficiente severidad para provocar la pérdida de vidas, lesiones o impactos en la salud. También puede causar daños y pérdidas en bienes, infraestructura, medios de sustento, prestación de servicios y recursos ambientales. De esta manera, las amenazas están influenciadas por las características físicas de los territorios, tales como su geología, topografía, características hidrográficas y climáticas, entre otras.

De acuerdo con el Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del departamento de Antioquia – PDGRD (DAPARD, 2018), En las nueve regiones de Antioquia se han identificado diversos fenómenos amenazantes, relacionados con las características geológicas, topográficas, hidrográficas y climáticas del territorio. Algunos de estos fenómenos no son recurrentes, mientras que otros ocurren con mayor frecuencia. Estas condiciones hacen de Antioquia un lugar vulnerable a una variedad de eventos. Los principales factores amenazantes en la región se pueden establecer a partir de las condiciones ambientales y los antecedentes de desastres.

Tabla 10.19 Principales factores amenazantes identificados en el departamento de Antioquia

Origen	Amenaza
Hidrometeorológicos	Temporales, avenidas torrenciales, heladas, sequía, granizada, movimientos en masa, tormenta eléctrica, inundaciones
Geológicos	Sismos, diapirismo (volcanes de lodo), movimientos en masa, socavación de cauces, erosión litoral
Tecnológicos	Derrames, explosiones, accidentes mineros, fugas, incendios estructurales, rotura de presa, colapso estructural, accidentes (tránsito, aéreos, marítimos).
Socio naturales	Incendios de cobertura vegetal, incendios estructurales, movimientos en masa, inundaciones
Antrópicos no intencionales	Aglomeración de personas

Fuente: PMGRD Antioquia, 2018

Así mismo, este mismo PDGRD destaca que, en la región nordeste, donde se localiza la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, el evento que más número de registros presenta entre los años 1894 y 2014 son los movimientos en masa, seguido de las inundaciones y en tercer lugar los vendavales.

Adicionalmente, según la base de datos de Desinventar, los eventos más reportados en los municipios de San Roque y Yolombó, áreas que coinciden con la zona de probable afectación definida en este PGR son las inundaciones en San Roque, los incendios forestales en Yolombó y los movimientos en masa en ambos municipios. Estos eventos se detallan en la Tabla 10.20 y se analizan con mayor profundidad en el Anexo_PGR_Reporte_Desinventar.

Tabla 10.20 Reportes de amenazas en Desinventar

Amenaza	San Roque	Yolombó
	Número de reportes	Número de reportes
Sismo	2	2

Amenaza	San Roque	Yolombó
	Número de reportes	Número de reportes
Tormenta eléctrica	1	1
Inundación	8	2
Avenida torrencial	3	2
Incendio forestal	1	7
Movimiento en masa	11	6
Tormenta eléctrica	3	1

Fuente: Desinventar, 2025

Esta información concuerda con los instrumentos de planificación municipal como el Plan Municipal de Gestión del Riesgo del Municipio de San Roque (CMGRD C. M., 2017) donde se priorizan los escenarios de movimientos en masa, vendavales, inundaciones y avenidas torrenciales e incendios. Mientras que para el municipio de Yolombó las amenazas potenciales de origen natural están relacionadas con las corrientes de agua que generan inundaciones y avenidas torrenciales, los procesos erosivos y de remociones en masa, y en menor medida, la actividad sísmica (EOT, 2019).

De acuerdo con la Política de Seguridad Minera (MinEnergía, 2022), en el sector minero colombiano, las emergencias más frecuentes y graves están asociadas principalmente a fallas geomecánicas, atmósferas contaminadas o irrespirables, explosiones y fallas mecánicas, que en conjunto representan más de la mitad de la accidentalidad registrada entre 2011 y 2022. Aunque la mayor siniestralidad ocurre en minería subterránea especialmente en carbón, la minería de oro, incluida la realizada a cielo abierto, también presenta escenarios de riesgo relevantes relacionados con inestabilidades del terreno, procesos erosivos, manejo inadecuado de explosivos, inundaciones por cercanía a cuerpos de agua y deficiencias en los sistemas de transporte interno. La persistencia de operaciones con bajos estándares técnicos, la limitada cultura de autocuidado y la falta de sistemas eficaces de gestión de seguridad contribuyen a que estos eventos se materialicen, generando un alto número de accidentes y fatalidades que evidencian la necesidad de fortalecer las medidas preventivas y los mecanismos de control en toda la actividad minera.

De acuerdo con lo anterior y con las actividades contempladas en la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote para sus fases de construcción, operación y cierre, en la Tabla 10.21 se presentan las amenazas identificadas para el proyecto. En dicha tabla se relacionan los eventos potenciales y las etapas del proyecto en las que cada uno de ellos podría materializarse.

Tabla 10.21 Amenazas identificadas

Amenaza	Etapas del proyecto					
	Reasentamiento	Construcción y montaje	Actividades preliminares	Operación		
	Reasentamiento	Construcción de infraestructura y montaje de equipos		Extracción	Beneficio y transformación	Tratamiento de colas
Incendio forestal	+	+	+	+		

Amenaza	Etapas del proyecto						
	Reasentamiento	Construcción y montaje	Actividades preliminares	Operación			Cierre y abandono
	Reasentamiento	Construcción de infraestructura y montaje de equipos		Extracción	Beneficio y transformación	Tratamiento de colas	Abandono y cierre
Avenida torrencial		+	+	+	+	+	+
Orden público y social	+	+	+	+	+	+	+
Movimiento en masa		+	+	+	+	+	+
Sismos	+	+	+	+	+	+	+
Accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible)		+	+	+	+	+	
Colapso estructural		+			+	+	
Derrame de materiales peligrosos		+	+	+	+	+	
Derrumbes de taludes de los depósitos de material y tajos				+		+	
Emergencia sanitaria	+	+	+	+	+		
Explosiones no controladas		+	+	+	+		
Falla de la presa de colas					+	+	+
Falla de tubería de colas					+	+	
Incendios estructurales	+	+	+	+	+	+	+

Fuente: PGR_01_V1, 2019

A partir de la identificación de las amenazas listadas en la Tabla 10.21, se realiza una categorización de las amenazas por tipo y origen como se muestra en la Tabla 10.22, clasificando las amenazas identificadas entre amenazas exógenas y endógenas, además si son de origen natural, socio natural, antrópico u operacionales/tecnológicas.

Tabla 10.22 Identificación y clasificación de amenazas

Tipo	Origen	Amenaza
Exógenas	Amenazas naturales	Sismos
	Amenazas socio naturales	Movimientos en masa
		Inundaciones
		Avenidas torrenciales
		Incendios forestales
Endógenas	Amenazas antrópicas	Orden público y social
	Amenazas operacionales/tecnológicas	Explosiones no controladas
		Derrame de materiales peligrosos
		Incendio estructural
		Colapso estructural
		Falla de la presa de colas
		Falla de tubería de colas
		Derrumbes de taludes de los depósitos de material y tajos
		Emergencia sanitaria
		Accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible)

Fuente: Integral S.A., 2025

A. Amenazas naturales

a. Sismos

Los sismos consisten en una sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Estos fenómenos son producto de la dinámica entre las placas tectónicas, en la cual se libera energía manifestada como movimientos telúricos (UNGRD, 2017).

El proyecto Gramalote cuenta con un estudio de amenaza sísmica desarrollado por la empresa Golder Associates USA Inc. Este fue elaborado para B2Gold & Anglo Gold Ashanti (AGA). Este estudio denominado “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) específicos del sitio donde se construirá el terraplén de la presa de almacenamiento de relaves o colas (TSF, por sus siglas en inglés correspondientes a Tailing Storage Facility) propuesta en el sitio de Gramalote, Colombia. Este estudio también incluye el análisis de aceleración tiempo-historia de terremotos (ATH, por sus siglas en inglés) para respaldar el diseño de ingeniería de la presa de almacenamiento de relaves o colas (TSF).

Este informe proporciona la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA, por sus siglas en inglés) específica del sitio y aceleraciones espectrales amortiguadas (Sa) al 5 % para las probabilidades de excedencia anual (AEP, por sus siglas en inglés) seleccionadas. Los movimientos sísmicos de la media y del percentil 84 también se estiman para el sismo máximo creíble (MCE, por sus siglas en inglés) en función del DSHA específico del sitio Golder Associates USA Inc (2022).

Como se indica en el estudio desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022), la estimación de la amenaza sísmica tuvo en cuenta los lineamientos de las principales organizaciones internacionales, por ejemplo, International Committee on Large Dams - ICOLD; Canadian Dam Association - CDA; Australian National Commission of Large Dams - ANCOLD; Global International Standard of Tailings Management - GISTM, entre otros.

El estudio de amenaza sísmica desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022) para la presa de almacenamiento de relaves o colas (TSF, por sus siglas en inglés), el cual es aplicable a la mina Gramalote, se presenta en el ANEXOS_CHARACTERIZACION_GEOLOGIA_SISMICA. A continuación, se resumen los principales aspectos del estudio mencionado anteriormente relevantes para el área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

I. Contexto sismo – tectónico

El área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se encuentra ubicado en una región tectónicamente compleja, localizada al noroeste de Sudamérica. Esta zona se caracteriza por importantes zonas de subducción, numerosas fallas tectónicamente activas, las cuales están mayormente orientadas en dirección N-S, la presencia de volcanes activos y un registro histórico de sismos de magnitud importante. La convergencia y las interacciones de tres placas tectónicas (Nazca, Caribe y Sudamericana) con la placa de los Andes del Norte y la placa Paleo-Caribe dominan la tectónica de placas actual del noroeste de Colombia (Golder Associates USA Inc, 2022).

La configuración tectónica actual, la cual domina los procesos presentes en el área de la mina Gramalote, y en general, el territorio colombiano se presenta en la Figura 10.16 y la Figura 10.17. Adicionalmente, la evolución tectónica de esta región se describe en detalle en el numeral 2.0 del informe “*Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories*” desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022).

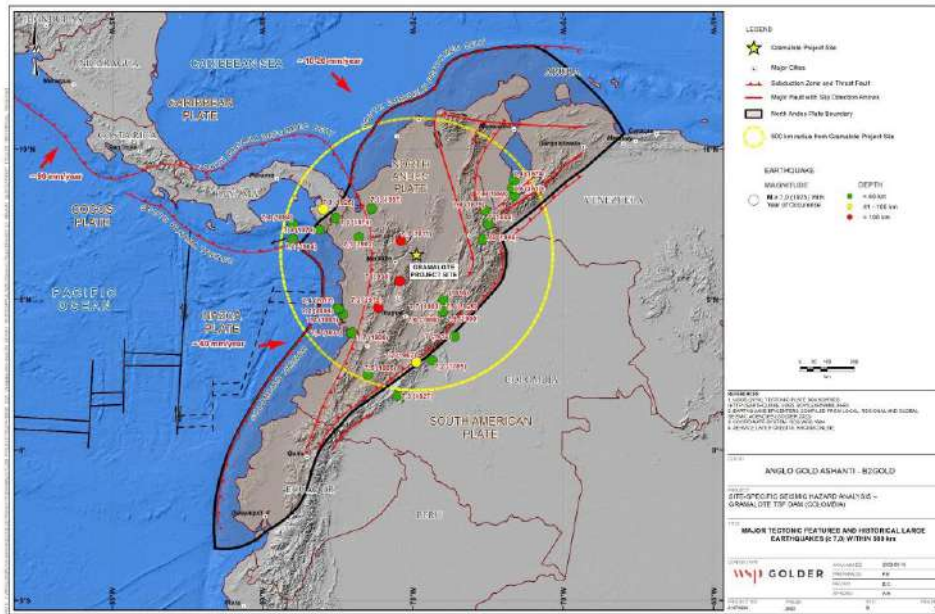


Figura 10.16 Configuración tectónica y terremotos históricos más importantes

Fuente: (Golder , 2022)

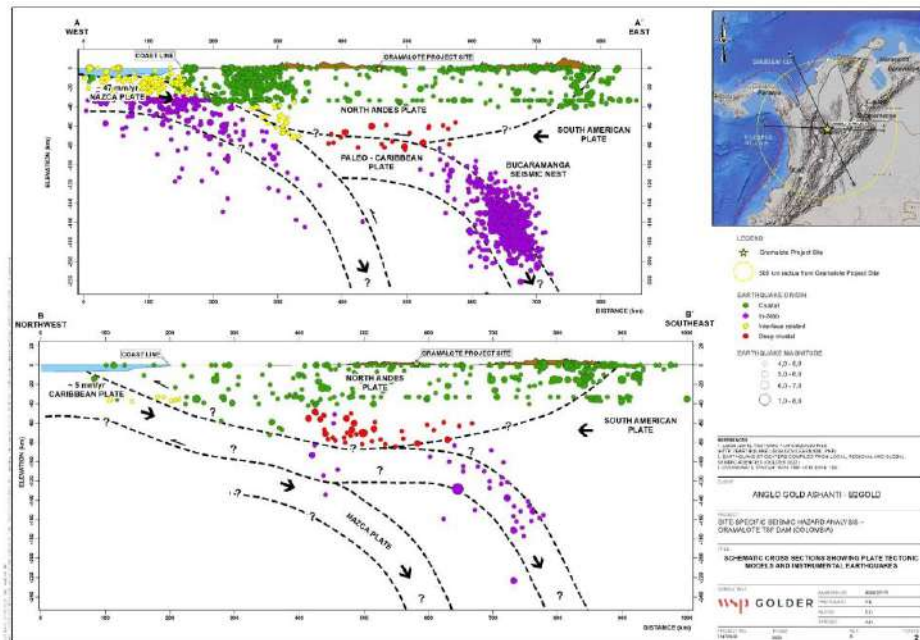


Figura 10.17 Secciones transversales esquemáticas que ilustran las principales características tectónicas y los hipocentros de los sismos históricos

Fuente: (Golder , 2022)

II. Fuentes sísmicas consideradas

La interacción de las placas de Nazca, Caribe, Andes del Norte y América del Sur ha resultado en la formación de una amplia variedad de fallas corticales sísmicamente activas en Colombia, además de volcanes activos en el sur del territorio, cerca de la frontera con Ecuador (Golder Associates USA Inc, 2022). Los terremotos históricos más grandes están asociados con la subducción superficial y más profunda de las placas de Nazca y del Caribe, así como con algunas fallas regionales que atraviesan el territorio colombiano (Figura 10.17 y Figura 10.18).

Para el estudio de amenaza sísmica desarrollado por Golder para Gramalote, se consideraron 20 fallas corticales (Golder Associates USA Inc, 2022). La información de estas estructuras fue recopilada desde distintos estudios desarrollados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Modelo de Amenaza Sísmica de Colombia (Arcila, 2020), la base de datos del Proyecto de Evaluación de Riesgos de América del Sur (SARA, 2016) y la base de datos de fallas cuaternarias desarrollado por el USGS para Colombia (Paris, 2000).

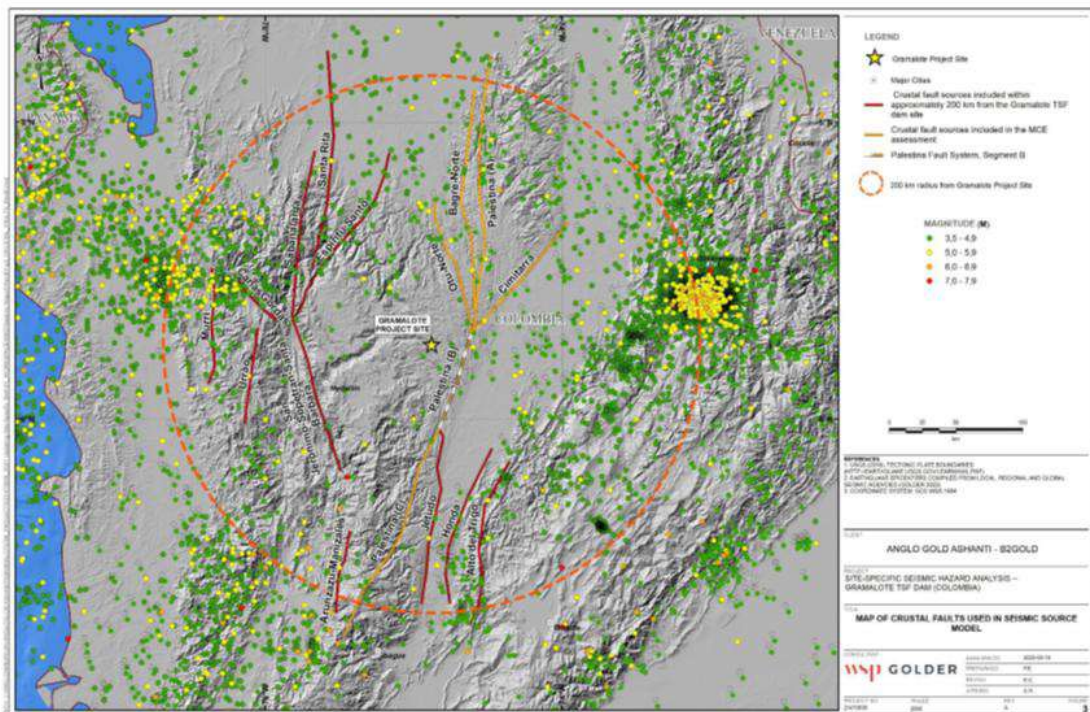


Figura 10.18 Análisis localizado en la mina Gramalote

Fuente: Golder Associates USA Inc (2022)

III. Sismicidad histórica

Presentar el contexto sísmico de Colombia a través de los sismos más importantes que han generado algún tipo de afectación en el territorio y conocer los efectos que los sismos históricos han tenido en las distintas zonas del país, permite, en cierta medida, entender

cuáles serían los efectos locales que podrían suceder en caso de que un sismo de magnitud importante ocurriera en la zona de interés para la mina Gramalote.

El sismo histórico más cercano del área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote sucedió el 10 de abril de 1911, con epicentro localizado en el municipio de Yarumal, Antioquia, al NW del área de la mina. En la Tabla 10.23 se presentan las características principales de este evento histórico. Adicionalmente, en el numeral A se describen algunos de los efectos generados por este sismo. Para este caso, el evento se mide en la escala de Intensidad Macrosísmica Europea (EMS-98, por sus siglas en inglés), la cual corresponde a una clasificación de la severidad de la sacudida del suelo, basándose en los efectos observados en un área limitada.

Tabla 10.23 Características de los eventos sísmicos históricos fuera del área interés

Fecha (aaaa-mm-dd)	Hora local (hh:mm)	Latitud (°)	Longitud (°)	Profundidad (km)	Magnitud	Área epicentral	Distancia al sitio* (km)
10/04/1911	13:42	6,96	-75,41	120	6,4 Mw	Yarumal*	77

*Departamento de Antioquia

Fuente: Elaboración propia a partir de SGC (2022)

- **Sismo de 1911-04-10**

Este sismo generó daños en las poblaciones de Yarumal y Campamento en el departamento de Antioquia, y se sintió en el centro y nororiente del país. El sitio más afectado fue Yarumal, donde se reportaron graves averías en algunas casas y en la torre de la iglesia, la cual posteriormente fue mandada a derribar (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2022).

En Campamento, se desplomó parte del frontis de la iglesia, y en el corregimiento de Santa Isabel (Remedios, Antioquia) se reportaron "grandes pérdidas materiales". Fue sentido en Medellín y Cúcuta en Colombia, y en Barinas, Guanare y Tariba en Venezuela (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2022). El hecho de que este sismo haya sido sentido en un área tan extensa, justifica la interpretación de su profundidad de 120 km. Sin embargo, es necesario considerar la posibilidad de que el epicentro se localizara un poco más al este, dado que fue sentido en el territorio venezolano.

En la Figura 10.19 se presenta los valores intensidad (EMS-98) alcanzados en los municipios de Yarumal, Medellín, Montería, Cúcuta (Colombia) y San Cristóbal (Venezuela).

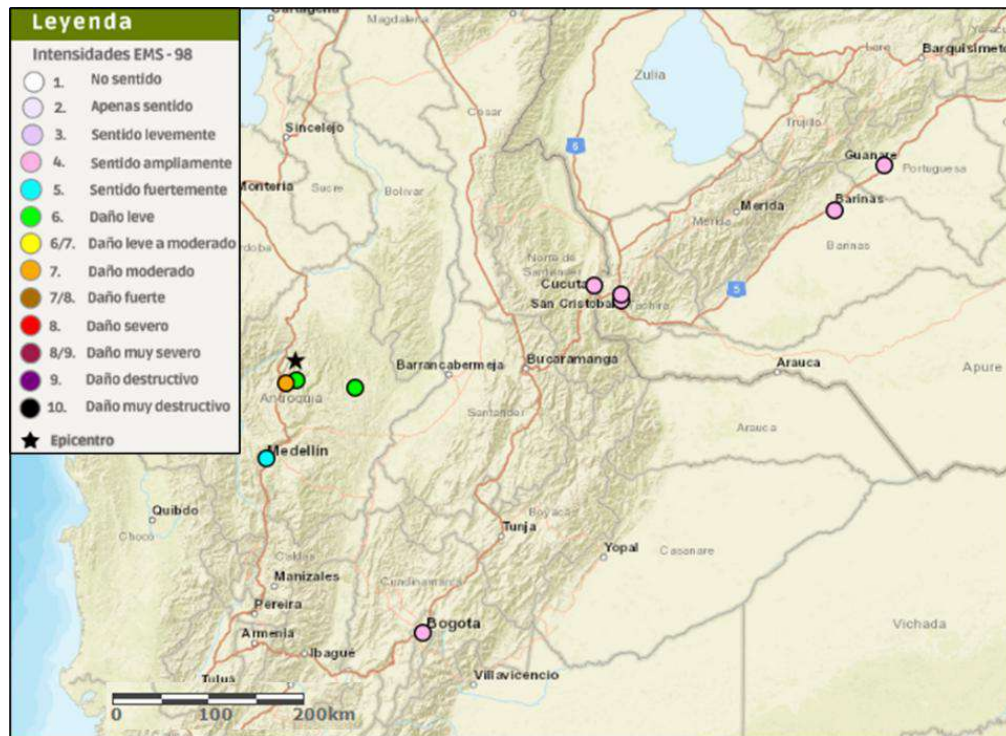


Figura 10.19 Mapa de intensidades EMS-98 para el sismo histórico del 10 de abril de 1911, con área epicentral en Yarumal, Antioquia. El epicentro de este evento se localizó al NW de la mina Gramalote

Fuente: SGC (2022)

Dadas las características tectónicas del territorio colombiano, existen otros eventos históricos asociados a las distintas sismo-fuentes presentes en el país, sin embargo, los epicentros de estos eventos se encuentran a distancias superiores a los 100 km desde la mina Gramalote. Las características principales de los eventos históricos se presentan en el numeral 3.1 del informe “*Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories*” desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022).

IV. Sismicidad instrumental

El estudio de amenaza sísmica desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022), compiló información de sismicidad histórica e instrumental de 11 catálogos sísmicos (locales, regionales y globales). Esta compilación permitió generar un catálogo de sismos confiable y suficiente para desarrollar los análisis requeridos en el sitio de la mina Gramalote. La distribución de la sismicidad compilada se puede observar en la Figura 10.18.

A continuación, se listan las bases de datos utilizadas en la compilación del catálogo sísmico del estudio PSHA y DSHA de la mina Gramalote (Golder Associates USA Inc, 2022):

- Servicio Geológico Colombiano (SGC)
- *United States Geological Survey – USGS*
- *USGS Centennial Earthquake Catalog – CENT*
- Archivo histórico global de sismos compilado por *Global Earthquake Model (GEM)*
- Catálogo del boletín del *International Seismological Centre (ISC)*
- Catálogo de sismicidad instrumental global compilado por *ISC y Global Earthquake Model (ISCGEM)*
- Catálogo sísmico del *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*
- Catálogo de *Advanced National Seismic System (ANSS)*
- Catálogo del *Global Centroid Moment Tensor (GCMT)*
- Catálogo del *Incorporated Research Institutions for seismology – IRIS*
- Catálogo de sismos de Suramérica (SARA)

En el numeral 3.0 del informe “*Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories*” desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022), se encuentra el detalle y las características de los catálogos mencionados anteriormente.

V. Nivel de amenaza del sitio de interés

El análisis probabilístico de amenaza sísmica (PSHA, por sus siglas en inglés) desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022) para el área de influencia del medio abiótico para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se realizó usando el software EZ-FRISK v8.0. El valor de VS30 utilizado en la estimación de la amenaza sísmica fue de 800 m/s (Golder Associates USA Inc, 2022), el cual es equivalente a un afloramiento de roca de rigidez media, según se define en el título A de la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2010).

Los resultados obtenidos a partir del análisis probabilístico se exponen mediante las curvas de amenaza, que representan la frecuencia anual de los diferentes niveles de aceleración máxima esperada en el sitio de interés y los espectros de respuesta de amenaza uniforme (UHS) para distintos periodos de retorno. El término "Amenaza Uniforme" se usa aquí porque existe la misma probabilidad de exceder los movimientos del terreno en un tiempo de exposición seleccionado en cualquier período espectral (Golder Associates USA Inc, 2022).

En la Figura 10.20 y Figura 10.21 se presentan las curvas de amenaza y los espectros de respuesta de amenaza uniforme (UHS). Adicionalmente, en la Tabla 10.24 se muestran los valores de aceleración para distintos periodos espectrales asociados a los periodos de retorno de 475, 975, 2.475, 5.000 y 10.000 años y sus respectivas tasas anuales de excedencia. El detalle de los resultados del estudio de amenaza sísmica se puede consultar en los numerales 5.0, 6.0 y 7.0 del informe “*Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories*” desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022).

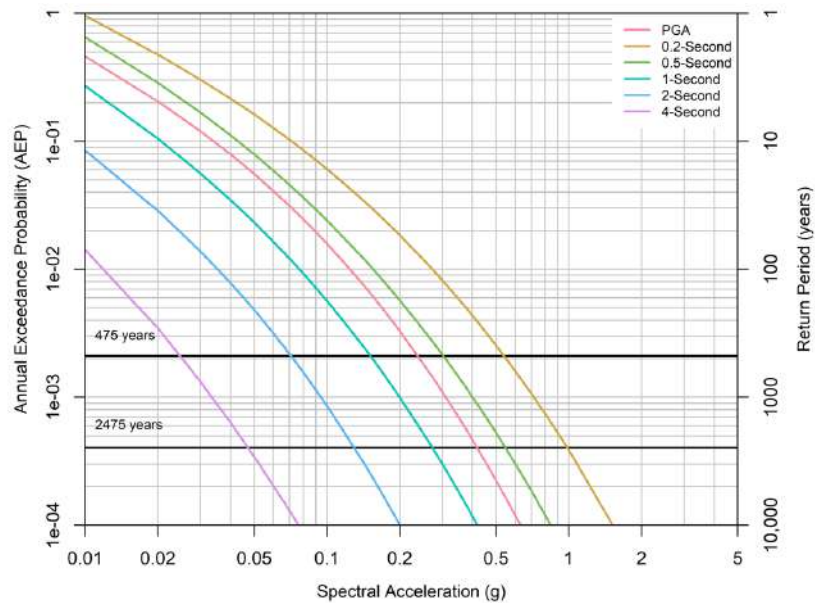


Figura 10.20 Curvas de amenaza media (5% de amortiguamiento) para los periodos espectrales seleccionados en el sitio de la mina Gramalote. El valor de Vs30 usado es de 800 m/s

Fuente: Golder Associates USA Inc (2022)

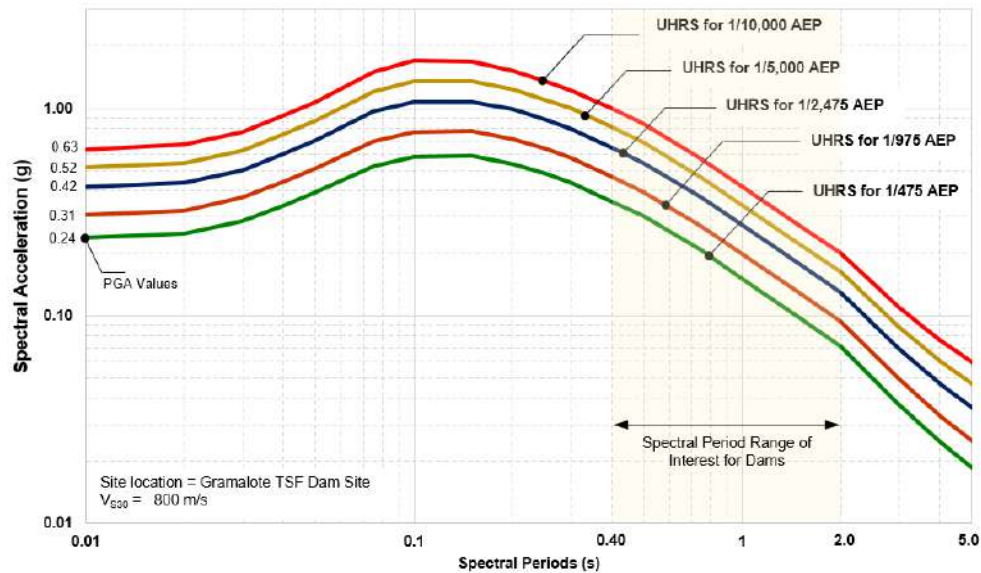


Figura 10.21 Espectros de Respuesta de Amenaza Uniforme (UHRs) (5% de amortiguamiento) en el sitio de la mina Gramalote. El valor de Vs30 usado es de 800 m/s

Fuente: Golder (2022)

Tabla 10.24 UHRS (5% de amortiguamiento) para las Probabilidades Anuales de Excedencia (PAE) seleccionadas en el sitio del proyecto Gramalote. El valor de Vs30 (1) usado es de 800 m/s

Periodo espectral (s)	Aceleración Espectral Horizontal - UHRS (g)				
	PAE*	PAE*	PAE*	PAE*	PAE*
	1/475	1/975	1/2.475	1/5.000	1/10.000
PGA	0,238	0,308	0,418	0,518	0,632
0,1	0,586	0,773	1,075	1,351	1,692
0,15	0,591	0,779	1,079	1,352	1,689
0,2	0,54	0,711	$S_s = 0,987^{(2)}$	1,227	1,519
0,3	0,438	0,576	0,796	0,997	1,214
0,4	0,357	0,468	0,647	0,811	1
0,5	0,303	0,397	0,547	0,684	0,842
0,75	0,207	0,271	0,373	0,465	0,571
1	0,151	0,198	$S_1 = 0,273^{(2)}$	0,34	0,419
2	0,071	0,094	0,129	0,163	0,2
3	0,038	0,05	0,07	0,089	0,111
4	0,025	0,033	0,047	0,06	0,076
5	0,019	0,025	0,036	0,047	0,06
7,5	0,011	0,015	0,023	0,03	0,039
8	0,01	0,014	0,021	0,027	0,036
9	0,009	0,012	0,018	0,023	0,03
10	0,008	0,011	0,015	0,02	0,026

Valores espectrales de amenaza sísmica uniforme específico del sitio, calculados para afloramientos de roca de rigidez media (VS30 de 800 m/s) equivalente a un suelo Tipo B, según lo definido por el NSR-10.

SS y S1 son las aceleraciones espectrales medias para el Sismo Máximo Considerado (MCEQ, por sus siglas en inglés) en periodos definidos para TSS = 0,2 s y TS1 = 1,0 s, para el periodo de retorno de 2.475 años según ASCE 7-16 (2016) (Golder Associates USA Inc, 2022). Si bien el MCEQ utiliza un VS30 de 760 m/s, los valores proporcionados aquí pueden considerarse equivalentes, pero para el diseño final, deben recalcularse para un VS30 de 760 m/s.

Fuente: Golder Associates USA Inc (2022)

Como se puede observar en el numeral 7.2 del informe “Site-specific probabilistic – deterministic seismic hazard assessment and acceleration time histories”, los valores de aceleración del estudio desarrollado por Golder Associates USA Inc (2022) para el sitio de la mina Gramalote, son coherentes respecto de otros estudios de amenaza sísmica desarrollados en el país) (Tabla 10.25). Los valores presentados en este informe son más conservadores por lo que su uso en el diseño de las obras se considera adecuado y representativo para la zona.

Tabla 10.25 Valores de aceleración para algunos periodos espectrales (PGA, 0,2 y 1,0 s) asociados a un periodo de retorno de 475 años de varios estudios para el sitio de la mina Gramalote

PSHA con Probabilidad Anual de excedencia de 1/475			
Estudio	PGA	0,2 s	1,0 s
Golder -2013	0,21	0,46	0,15
GEM -2018	0,20-0,35	---	---
Petersen et al, -2018	0,22	0,5	0,12
Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia -2020	0,15-0,21	0,33- 0,44	0,07-0,08
Este estudio (Golder, (2022))	0,24	0,54	0,15

Fuente: modificado de Golder Associates USA Inc (2022)

En la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010) se presenta el mapa de zonificación sísmica de Colombia, donde se define el nivel de amenaza según la localización del área de interés. Igualmente, se encuentra la definición del tipo de perfil de suelo considerando los parámetros de éste, determinando así su clasificación según la descripción del perfil de suelo.

De acuerdo con la NSR-10, el área del proyecto está considerada dentro de una zona de amenaza sísmica alta (Figura 10.22), esto se determina a partir del valor de la aceleración horizontal pico efectiva (A_a) para un periodo de retorno de 475 años que es de 0,238 g.

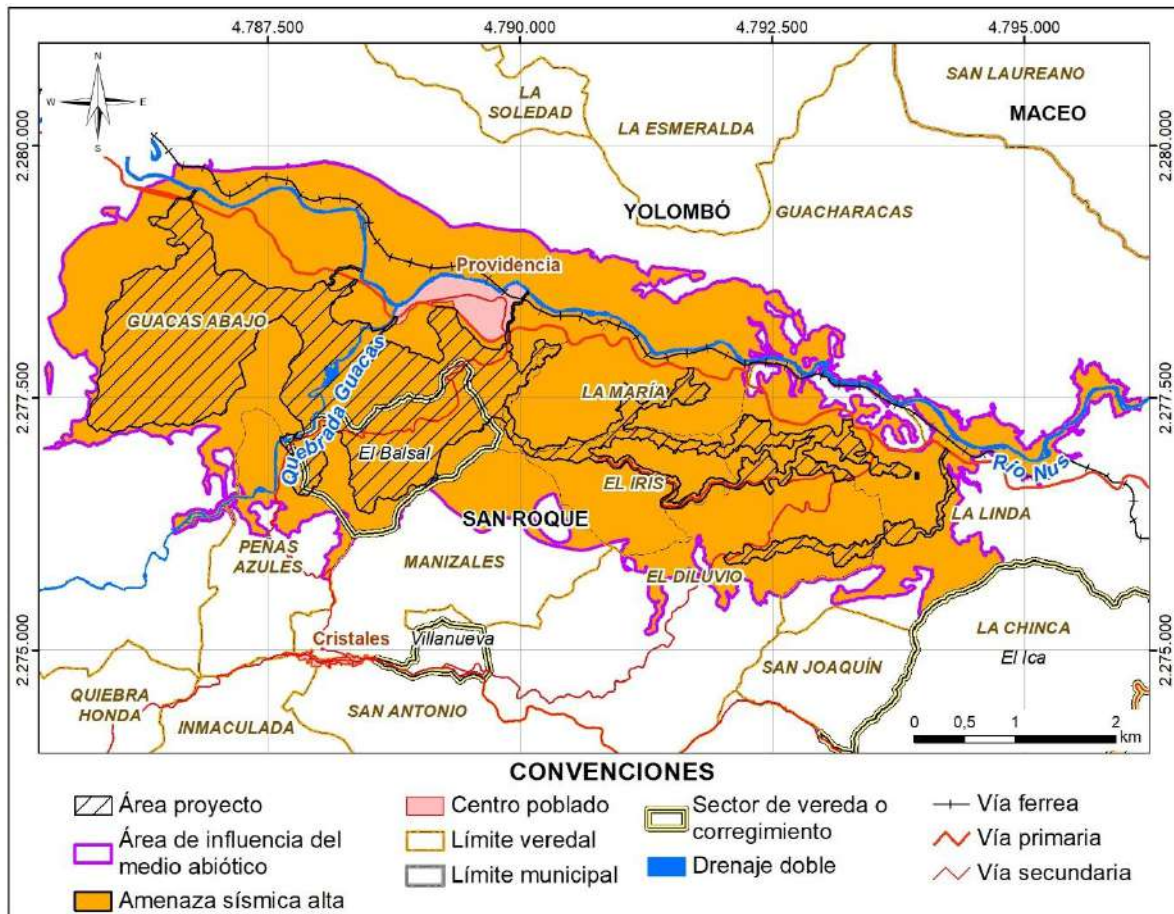


Figura 10.22 Amenaza sísmica

Fuente: Integral S.A., 2025

VI. Escenarios de riesgo asociados a la amenaza ante sismos

a) Rotura de la presa de colas por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño de la presa

Es importante destacar que, puesto que la presa de colas no es una obra objeto de modificación se conservan los análisis ya aprobados en el PGR_01_V1. La principal consecuencia que tendría la materialización de este escenario sería la inundación aguas abajo, producto de la liberación del material contenido en la presa.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de rotura de presa, se encontró que la falla por sismo generaría una inundación semejante al escenario de sobrepaso; de acuerdo con esto, dicha inundación podría tener como consecuencia la afectación del río Nus y la Ruta Nacional 62 la cual puede ser alcanzada por la lámina del agua ocasionando el cierre parcial de la misma y la inundación de viviendas localizadas en las zonas de retiro del río Nus aguas abajo, como por ejemplo el corregimiento de San José del Nus y algunos sectores del Municipio de Caracolí.

b) Rotura de las presas de sedimentación de depósitos por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño

Para el análisis de la posible rotura de las presas que sirven como sistema de retención en los sedimentadores se tuvo en cuenta varios enfoques.

Para el sedimentador La Colorada, dado que se trata de una estructura multipropósito de gran importancia que sirve tanto para la retención de sólidos en suspensión como para la conexión vial desde el acceso del proceso hasta la plataforma principal donde se dispondrá la planta de trituración, entre otras funciones, se tuvieron en cuenta diversos enfoques geotécnicos e hidráulicos.

Desde el punto de vista geotécnico, se caracterizaron los materiales de fundación y de construcción mediante un enfoque estadístico, incorporándolos en análisis de estabilidad probabilísticos con el fin de establecer las probabilidades de falla asociadas a la variabilidad geotécnica de los materiales. Adicionalmente, se asignó una categoría de presa siguiendo los lineamientos del (CDA, 2019) y considerando las principales características de su entorno.

De acuerdo con el Numeral 5_1_7_GEOTECNIA de la presente modificación de licencia, la presa del sedimentador La Colorada se proyecta como un terraplén de materiales homogéneos, construido en dos fases: la primera hasta la cota 830 m s.n.m. y la segunda hasta aproximadamente 850 m.s.n.m. El diseño incluye una geomembrana de HDPE de 2 mm como sistema de impermeabilización, protegida por geotextil, con una vida útil estimada entre 20 y 30 años para la primera etapa de los llenos. Asimismo, se incorpora un dren inclinado y capas de transición para el control de filtraciones y el mantenimiento de la estabilidad bajo condiciones de niveles de embalse extremos, considerando la geometría final de operación. Estas medidas se complementan con un vertedero de excesos diseñado para crecientes extremas, incluida la creciente máxima probable (CMP).

Se identificaron tres modos potenciales de falla: erosión interna, falla del vertedero y agrietamiento inducido por sismo. Para la mitigación de una posible falla por erosión interna, se establecen controles estrictos de compactación (≥ 90 % de la densidad máxima determinada mediante el ensayo Proctor modificado), la definición de los parámetros geomecánicos que deben cumplir los materiales para la conformación de cada zona de la presa, así como recomendaciones de inspección e instrumentación geotécnica. Por su parte, el vertedero, con una sección hidráulica de 2,5 m $\times$ 2,5 m, permite el tránsito de crecientes con periodos de retorno de 500 años (39,68 m³/s) y de la CMP (66,39 m³/s), evitando desbordamientos críticos. En un escenario extremo, la vía de acceso funcionaría como vertedero natural, reduciendo los riesgos asociados.

Con base en lo anterior y aplicando los criterios del (CDA, 2019), se determinó que la clasificación de la presa corresponde a riesgo alto, debido a la existencia de población permanente en la zona y a las potenciales pérdidas humanas, así como a los impactos ambientales y económicos que podrían generarse ante un fallo poco probable. No obstante, el potencial de pérdidas e impactos se reduce mediante la implementación de sistemas de monitoreo hidráulico y geotécnico, sistemas de alerta temprana y planes de contingencia, con el fin de mantener la seguridad de la obra y de las zonas aguas abajo. Con estas medidas, la probabilidad de falla se considera muy baja, garantizando condiciones seguras para el proyecto y las comunidades aledañas.

Así, el escenario de carga más crítico corresponde al sismo y en concordancia con lo anterior, los espaldones aguas arriba y aguas abajo de la presa del sedimentador La Colorada han sido diseñados para un sismo con un periodo de retorno robusto de 2.745 años. Las excavaciones para la conformación de los estribos, por su parte, se diseñaron para un sismo con un periodo de retorno de 475 años, dado que posteriormente serán confinadas con la conformación final de los llenos y con el fin de mantener coherencia con el periodo de retorno del sismo de diseño aplicable a las vías del proyecto.

Considerando el enfoque probabilístico aplicado en los análisis de estabilidad del sedimentador La Colorada, se cumplen los factores de seguridad establecidos. Adicionalmente, las probabilidades de falla asociadas a la variabilidad geotécnica de los materiales de fundación y de los llenos alcanzan como máximo $4E-1$ (40 %) para el espaldón aguas abajo de la presa. En el talud del vertedero y en los estribos de la presa, la probabilidad máxima de falla es de $1,8E-2$ (1,8 %). Estos resultados se encuentran reportados en el Numeral 5_1_7_6_4_PRESA DEL SEDIMENTADOR LA COLORADA, del Capítulo 5_1_7_GEOTECNIA, de la presente modificación de licencia.

No obstante, estas probabilidades de falla dependen del evento desencadenante, es decir, primero debe ocurrir el sismo de diseño para posteriormente provocar una potencial inestabilidad. En este sentido, la tasa anual de ocurrencia de un sismo con periodos de retorno de 475 y 2.475 años es del orden de $1/Tr$, equivalente a $2,1E-03$ y $4,04E-04$, respectivamente (Ver Tabla 10.26). Al multiplicar esta tasa por la probabilidad de ocurrencia de una inestabilidad geotécnica —determinada mediante los análisis de estabilidad—, se obtiene que la probabilidad de ocurrencia de una inestabilidad geotécnica inducida por un sismo con periodos de retorno de 475 y 2.475 años es menor a los máximos indicados antes y es del orden de $3,8E-5$ y $1,6E-4$, respectivamente.

Tabla 10.26 Eventos identificados como posibles detonantes de una posible falla de presa

Tipo de evento detonante	Descripción de la consecuencia	Código	Probabilidad de ocurrencia	
			P (%) = $1/Tr$	Tr (años)
Sismo	Materialización de un evento sísmico que genere un fallo de talud que obstruya la entrada del vertedero de la presa.	ST	0,21%	475
	Materialización de un evento sísmico que genere un colapso interno del vertedero de la presa.	SV	0,21%	475
	Materialización del evento sísmico de diseño que genere agrietamientos y/o deformaciones relevantes sobre la presa.	SP	0,04%	2.475

Fuente: Integral S.A., 2025

c) Rotura de otras presas de sedimentación por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño

En el caso de los sedimentadores El Banco y San Antonio, la probabilidad de falla máxima anual está condicionada a la ocurrencia del sismo. Tierra Group asignó un sismo de diseño de 475 años para dichas estructuras, lo que limita la probabilidad de falla a valores por debajo de $2,1E-3$ o 0,21%. Estos sedimentadores son de carácter temporal. Para estas

obras aplicar las mismas recomendaciones de conformación de los llenos, procedimientos de inspección y monitoreo.

B. Amenazas socio naturales

Las amenazas socio naturales surgen de una combinación de procesos naturales y la intervención humana. En el marco de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, las amenazas de este tipo incluyen movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales las cuales se describen a continuación:

a. Movimientos en Masa

Los movimientos en masa hacen referencia a todos los movimientos ladera de roca, detritos o tierra por efectos de la gravedad. Estos incluyen fenómenos como deslizamientos, reptación, flujos, entre otros. Estos fenómenos son comunes en áreas que presentan pendientes pronunciadas y suelen ser detonados por precipitaciones, sismos, así como por acciones antrópicas.

En la base de datos de Desinventar esta es la amenaza de mayor número de reportes en los municipios de San Roque y Yolombó, además es uno de los escenarios de riesgo priorizados dentro de sus documentos de planificación territorial como el PMGRD.

Estos eventos son de tipo deslizamiento, con superficie de ruptura circular que se generan en zonas con gran espesor de suelo y detonados por la saturación de estos en épocas de lluvias. A nivel geomorfológico se pueden apreciar como pequeñas zonas de topografía escarpada. Tienen forma cóncava en el sentido de la pendiente, que demarcan el área desde donde se ha desprendido material por efecto de la gravedad y el agua contenida en ellos.

Este tipo de procesos se encuentran distribuidos por toda el área de influencia abiótica del proyecto, fueron cartografiados 27 deslizamientos activos, pocos de ellos concentrados hacia el cerro Gramalote (vereda Guacas) y áreas cercanas. Geológicamente, el terreno afectado por este proceso está conformado por suelo residual producto de la meteorización de las rocas del Batolito Antioqueño. A partir de esto se analizó la susceptibilidad por movimientos en masa en el área de influencia abiótica.

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), que se enfoca en la evaluación del nivel de amenaza por procesos de remoción en masa a partir de la evaluación de parámetros intrínsecos o de susceptibilidad (Tipo de material, Drenaje, Relieve y Cobertura vegetal) y de parámetros detonantes (Clima, Erosión, Amenaza Sísmica y Factor Antrópico), bajo una calificación de la estabilidad geotécnica de los terrenos. Estos parámetros son evaluados mediante la asignación de valores altos (corresponden con zonas estables), mientras que bajos (corresponden 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 amenaza, como se presenta en la Tabla 10.27.

Tabla 10.27 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza
>177	Baja	Baja
>157 - ≤177	Media	Media
≤151	Alta	Alta

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

La Tabla 10.28 muestra la categorización de la estabilidad geotécnica propuesta por Ramírez F; González A.J, (1989).

Tabla 10.28 Categorías de estabilidad geotécnica

Categoría de estabilidad	Calificación de estabilidad (CE)	Clase	Descripción
Zonas estables o independientes	200 - 300	I	Aquellas áreas que se consideran estables a partir del análisis comparativo entre variables. Incluye pendientes que no presentan inestabilidad y las planicies.
Zonas estables poco dependientes	185 - 200	II	Pendientes que no presentan evidencias de deslizamientos, pero pueden desarrollar procesos morfodinámicos dependiendo del manejo de la ladera.
Zonas estables moderadamente dependientes	150- 185	III	Pendientes que puntualmente presentan evidencia de deslizamientos antiguos cuya reactivación depende del manejo de la ladera.
Zonas estables muy dependientes	120- 150	IV	Pendientes con evidencias locales de deslizamientos antiguos y recientes.
Zonas inestables recuperables	85- 120	V	Pendientes con evidencia de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores, pero que no han sufrido cambios en el registro histórico. Las formas de erosión son evidentes.
Zonas de inestabilidad alta	55- 85	VI	Pendientes que presentan deslizamientos frecuentes o reactivación de deslizamientos antiguos y con deslizamientos activos. Los procesos de inestabilidad no son regulares y se asocian a eventos espaciados varios años y periodos de lluvia.

Fuente: Ramírez F; González A.J, 1989

La metodología involucra la identificación de las unidades de terreno (Zonas Homogéneas) de acuerdo con las condiciones de: Tipo de material - Geología (M), Relieve – Pendiente del terreno y Forma del Relieve (R), Drenaje (D), Geomorfología y Procesos morfodinámicos- Erosión (E), Clima – Precipitación (C), Vegetación – Cobertura vegetal (V), Sismicidad (S) y la Evidencia de procesos antrópicos (A). Posteriormente se evalúan estos ocho parámetros y por último se integran todas estas variables con la ayuda del sistema de información geográfica ArcGis en una algebra de mapas como se ve en la Ecuación 10.1.3.14.

$$CE = M + R + D + E + V + C + S + A$$

Ecuación 10.1.3.14 Calificación de estabilidad

Los parámetros se dividen en intrínsecos (M, R, D, V) y detonantes (C, S, E; A), su forma de evaluación y los valores utilizados para el presente estudio, según las condiciones propias de las unidades de terreno identificadas para el área de influencia del Proyecto se describen a seguir:

I. Material (M)

Desde el punto de vista del comportamiento geomecánico, 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” o transportado. En la Figura 10.23 se muestran las calificaciones para el parámetro Material a partir de los valores de calificación según Ramírez & González, (1989).

SUELO									
Tipo de Suelo	RESIDUAL				TRANSPORTADO				
	SUELO		SUELO SAPROLITICO		Por acción directa de la gravedad		Por agentes naturales		
							AGUA		VIENTO
									HIELO
	G	F	G	F	G	F	G	F	G
Roca Parental									
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					

(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 10.23 Valores de calificación para el parámetro M (En el recuadro rojo se presentan los pesos asignados a los materiales del área de estudio)

Fuente: Ramírez & González, (1989)

La geología de la zona de estudio la constituyen principalmente suelos residuales y saprolitos derivados de la meteorización de las rocas del Batolito Antioqueño. Presentan una textura que varía entre limo arenosa a arenosa para el saprolito y generalmente limo arcilloso para el suelo residual. La consistencia en ambos también es variable, sin embargo, se asume media para este ejercicio.

También, en el área se presentan depósitos de vertiente de tipo coluviales y flujos, generalmente matriz soportados, con una textura limo arcillosa a limo arenosa y consistencia blanda.

En cuanto al lleno antrópico, teniendo en cuenta que la metodología no considera materiales antrópicos, se asume la unidad de lleno con las características entre un depósito aluvial y coluvial, constituido por materiales granulares de densidad baja, teniendo en cuenta el modo de depositación de estos. Los llenos antrópicos en el área de influencia abiótica del proyecto corresponden a los materiales sobrantes de las obras de infraestructura.

Tabla 10.29 Calificaciones del parámetro M en el área de influencia abiótica del proyecto

Tipo de material	Valor de M
Suelos residuales (VI) y saprolito (V) del Batolito Antioqueño	7
Roca poco meteorizada del Batolito Antioqueño (II)	25
Depósito aluvial	12
Depósito de coluviales	3
Depósitos de flujo	3
Llenos antrópicos	5

Fuente: Integral S.A., 2025

II. 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 10.30 se muestran los valores que se determinan según el tipo de relieve que se caracteriza en los terrenos en estudio.

Tabla 10.30 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
Interfluvio	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 de Cauce	> 45	6		

Fuente: Modificado de Ramírez & González, (1989)

Para el área de influencia abiótica objeto de modificación se construyó el mapa de pendientes del terreno 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 mostrados en la Tabla 10.30 y que definen los valores del parámetro A. Así mismo, con la ayuda de herramientas SIG, software ArcGIS, se establecen zonas del terreno de acuerdo con el perfil de las superficies (índice de curvatura: cóncavo, rectilíneo y convexo) y se asocia una

calificación de acuerdo con los rangos de pendiente (parámetro B), derivando esta calificación según la Figura 10.24.

Es importante considerar que el área de influencia corresponde a una región colinada y montañosa caracterizada por pendientes moderadamente escarpada o moderadamente empinada, donde se tiene el predominio de ambientes geomorfológicos denudacionales con geoformas definidas por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos. También se presentan geoformas asociadas a ambientes estructurales, fluviales concentradas en las partes bajas de las cuencas y antropogénicas, estas últimas asociadas a la intervención antrópica (explotación minera tradicional).

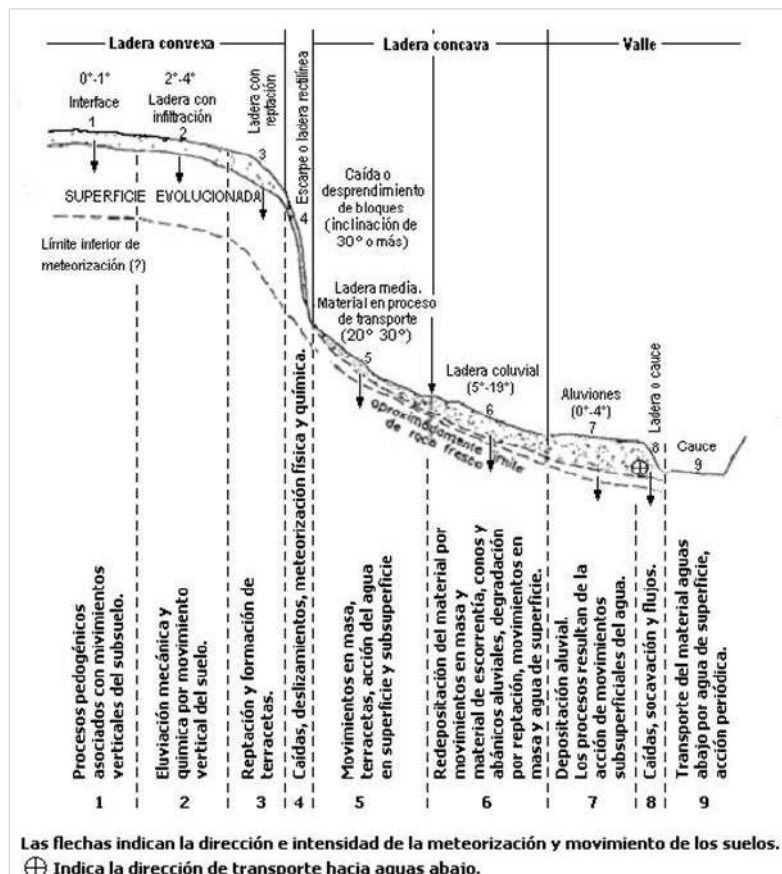


Figura 10.24 Clases del terreno de acuerdo con el perfil de las superficies (índice de curvatura: Cóncavo, rectilíneo y convexo) y las pendientes

Fuente: Ramírez & González, (1989)

III. Drenaje (D)

Este parámetro evalúa dos factores: densidad de drenaje y pendiente promedio del cauce (Tabla 10.31). 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 10.31 Valores del parámetro D – Pendiente y densidad de drenaje

Densidad de drenaje Pendiente del cauce (%)	Calificación parámetro D		
	Baja (0 - 25)	Media (25 - 4)	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 10.1.3.15 define como se calcula la densidad de drenaje:

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

Ecuación 10.1.3.15 Densidad de drenaje

Donde:

Lc: Longitud total de los cursos de agua en metros

A: área de la cuenca (Ha)

La densidad de drenaje en la margen derecha del río Nus es mayor que la de la margen izquierda. La red de drenaje tiende a ser dendrítica y muy ramificada en la margen derecha del río Nus, mientras que a su lado izquierdo se muestra con una tendencia subparalela menos ramificada.

IV. 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 10.32 son genéricos, por tanto, el tipo de cobertura vegetal presente en la zona de estudio serán homologados a estos nombres.

Tabla 10.32 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

Pendiente Tipo de vegetación	Calificación parámetro V		
	0-20°	20-45°	>45
Rasgos urbanos	6	0	0
Ríos (50 m)	32	32	32

Fuente: Modificado de Ramírez & González, (1989)

Es necesario aclarar que para efectos metodológicos los nombres de los tipos de vegetación citados en la tabla anterior son genéricos, por tanto, el tipo de cobertura vegetal presente en la zona de estudio se homologa a estos nombres y se asocia una calificación de acuerdo con las pendientes del terreno que cubren sus respectivas áreas (Tabla 10.33).

Tabla 10.33 Homologación coberturas vegetales vs Corine Land Cover (Parámetro V)

Tipo de Vegetación	Coberturas área de interés (Corin Land Cover)
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto	Bosque de galería y/o ripario, Bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque denso alto.
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes	Cultivo permanente herbáceos - Caña, Mosaico de cultivos.
Pastos o vegetación herbácea/Vegetación secundaria o en transición	Vegetación secundaria alta, Vegetación secundaria baja, Pastos arbolados, Pastos enmalezados, Pastos limpios.
Cultivo limpio o desmonte (canteras)	Tierras desnudas y degradadas, Zonas de extracción minera, Zona arenosa natural.
Rasgos rurales	Tejido urbano discontinuo, Lagunas, lagos y ciénegas naturales, cuerpos de agua artificiales.
Rasgos urbanos	Tejido urbano continuo, Red vial y terrenos asociados, Aeropuerto, Zonas industriales o comerciales, instalación recreativa.
Ríos	Ríos

Fuente: Integral S.A., 2025

Para el área de influencia las mayores áreas corresponden al tipo de coberturas vegetación secundaria baja, bosque fragmentado con vegetación secundaria y pastos limpios.

V. Erosión (E)

Se evalúa el porcentaje de área afectada y el tipo de erosión (ver Tabla 10.34), considerando cuatro tipos principales: laminar, diferencial, concentrada y por socavación.

Tabla 10.34 Valores del parámetro erosión – E

% Área afectada Tipo erosión	Calificación para E	
	Leve (0-10%)	Moderada (10-30%)
Laminar	30	21
Diferencial	22	15
Concentrada	15	11
Por socavación	11	8

Fuente: Modificado de Ramirez F; González A.J, 1989

En el área de influencia abiótica son identificados algunos procesos morfodinámicos que corresponden a sitios donde, por las condiciones morfológicas locales, la naturaleza de los

materiales y la presencia de agua, se han generado procesos de inestabilidad como movimientos en masa de tipo deslizamiento, cárcavas y surcos; también se distinguen algunos procesos relacionados con la dinámica de la quebrada Guacas y el río Nus, como lo es erosión de orillas.

VI. Clima (C)

Como insumo para el estudio de zonificación geotécnica se tiene el análisis de isoyetas de precipitación (según la Tabla 10.35), tanto de valores totales anuales como de valores mensuales multianuales.

Tabla 10.35 Valores del parámetro clima – C

Precipitación Media Anual (PMA)		Calificación parámetro C
Baja	< 3500	40
Media	3500 - 4000	19
Alta	> 4000	8

Fuente: Modificado de Ramírez F; González A.J, 1989

VII. Sismicidad (S)

Este parámetro evalúa dos factores: riesgo sísmico y tipo de material. Los niveles de riesgo sísmico se evalúan a través del mapa de valores de Aa para la zona de estudio y se clasifican los materiales de acuerdo con su susceptibilidad a eventos sísmicos. Los tipos de material para esta metodología fueron adoptados de acuerdo con tres perfiles de suelo establecidos en el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (CCCSR) del año 1984, tal como se presenta a continuación con su respectiva homologación con los perfiles de suelo definidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10):

- Perfil S1 (Perfil A y B): Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutíticas que tiene una velocidad de onda de corte mayor o igual a 750 m/s. Presenta perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60 m, compuesto también por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras.
- Perfil S2 (Perfil C): Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60 m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.
- Perfil S3 (Perfil D y E): Perfil que entre la roca y la superficie hay más de 10 m de depósitos de arcillas, cuya dureza varía entre mediana a blanda con o sin intercalaciones de arenas u otros suelos no cohesivos.

En la Tabla 10.36 se presenta la valoración del parámetro de sismicidad en función del riesgo sísmico y el tipo de material (el relleno de color naranja presenta la calificación estimada para este parámetro).

Tabla 10.36 Valores parámetros de sismicidad – S

Amenaza Sísmica	Valores de aceleración pico efectiva (Aa)						
Tipo de Material	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
S1	24	21	17	13	8	5	2
S2	12	10	8	7	4	3	1

Amenaza Sísmica	Valores de aceleración pico efectiva (Aa)						
Tipo de Material	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
S3	4	3	3	2	1	1	0

Fuente: Modificado de Ramirez F; González A.J, 1989

Para Gramalote se cuenta con un estudio de amenaza sísmica particular. Adicionalmente, el periodo de retorno de diseño típico para las obras es 475 años, para el cual el PGA es 0,238 g.

VIII. Factor Antrópico(A)

Este parámetro se considera como desencadenante o contribuyente de movimientos en masa, asociado a los cambios en el uso del suelo como transformador del medio físico. En el caso de uso urbano, con la construcción de obras de infraestructura como vías y redes y de viviendas. En primera instancia, cualquier acción del hombre para el cambio del uso, se inicia con la deforestación y en general las obras causan excavación o cortes, sobrecargas (rellenos o botaderos y construcciones), los cuales, acompañados del manejo incontrolado de aguas, generan indiscriminadamente sobre las laderas efectos de cargas, sobrecargas, modificación del drenaje e infiltración.

La Figura 10.25 muestra esquemáticamente la acción del hombre sobre el medio físico (Millán, J. & González, A., 2001). El análisis del Factor Antrópico debe determinar inicialmente las variables que intervienen; este se dirige a cuantificar los efectos sobre la ocurrencia de deslizamientos, por sobrecarga y descarga de las laderas, por infiltración de agua de escorrentía y por modificación del drenaje.

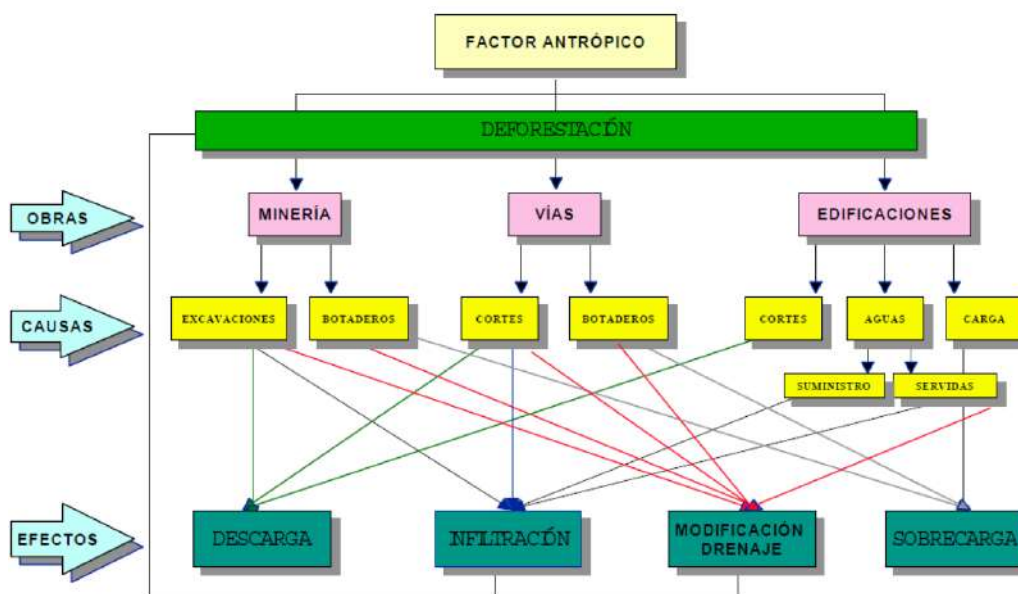


Figura 10.25 Efectos de la acción del hombre en la producción de deslizamientos

Fuente: Collazo R. D, (2015)

En la Tabla 10.37 se presenta la valoración del parámetro Efectos Antrópicos (A).

Tabla 10.37 Valores de susceptibilidad del parámetro Efectos Antrópicos

ZONAS DE AFECTACIÓN				GRADO DE INTERVENCIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
Zonas de Explotación	Canteras	Actuales	Urbanizadas		16	
			Sin urbanizar			6
		Abandonadas	Urbanizadas		18	
			Sin urbanizar			10
	Chircales		Urbanizadas		22	
			Sin urbanizar			12
Rondas			Intervenidas			2
			Poco intervenidas	38		
Zonas Urbanas			Sin urbanizar	40		
			Con servicios	35		
			Red aguas lluvias		26	
			Red aguas negras		30	
			Sin servicios			4

Fuente: Ramírez & González, (1989) y Millan J.A., Vesga, L., (1998)

IX. Resultados amenaza por movimientos en masa

Al integrar las variables mediante la Ecuación 10.1.3.14 se obtienen valores que permiten establecer la calificación geotécnica del área de influencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Con base en estos resultados, se realiza la comparación frente a las categorías de amenaza definidas para dichos rangos. Posteriormente, los resultados del análisis de amenaza se presentan de manera consolidada en la Tabla 10.38 y se ilustran gráficamente en la Figura 10.26

Tabla 10.38 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza, áreas

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
>177	Baja	Baja	1.516,87	60,79
>157 - ≤177	Media	Media	944,61	37,86
≤151	Alta	Alta	33,79	1,35
Total			2.495,27	100,00

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

Los resultados muestran que el 60,79 % del área de influencia presenta amenaza baja, asociada a sectores con condiciones geomorfológicas relativamente estables, pendientes moderadas y coberturas vegetales que favorecen la protección superficial del terreno, donde las evidencias de movimientos en masa corresponden principalmente a procesos antiguos estabilizados o de baja probabilidad de reactivación.

La categoría de amenaza media comprende el 37,86 % del área y se localiza principalmente en zonas con pendientes más pronunciadas y condiciones geomorfológicas que favorecen una mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, especialmente bajo escenarios de incremento de la saturación del terreno o alteraciones de la estabilidad de las laderas.

Por su parte, la amenaza alta representa el 1,35 % del área de influencia y se concentra en sectores localizados con condiciones topográficas más críticas, caracterizadas por pendientes abruptas y una mayor predisposición a la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

En consecuencia, la caracterización de la amenaza por movimientos en masa fue actualizada incorporando los resultados de la actualización de coberturas de la tierra y de los procesos erosivos, obteniéndose una nueva distribución espacial de las categorías de amenaza que se presenta en la Figura 10.26. Los resultados indican que la condición predominante en el área de influencia continúa correspondiendo a amenaza baja (60,79 %), seguida por amenaza media (37,86 %) y amenaza alta (1,35 %).

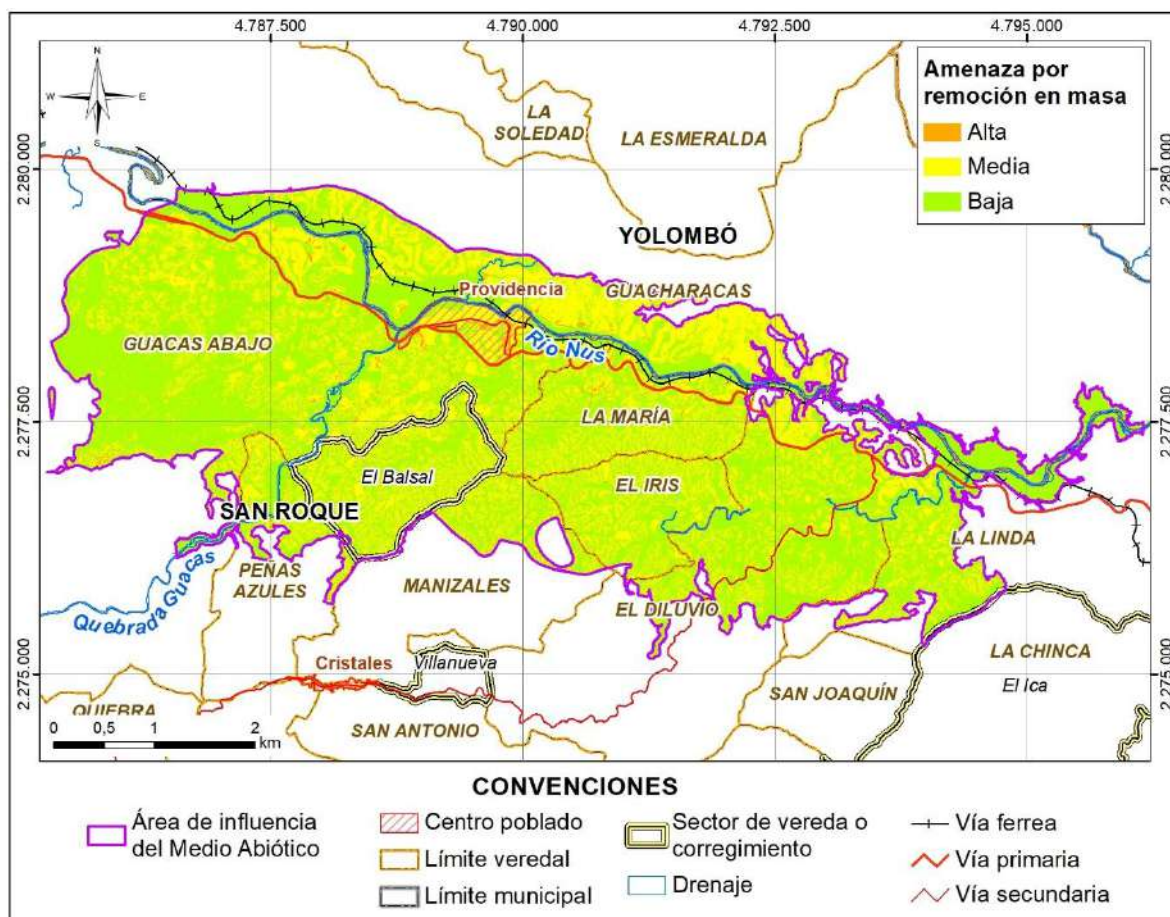


Figura 10.26 Amenaza ante movimientos en masa

Fuente: Integral S.A., 2026

X. Amenaza por movimientos en masa incluyendo el escenario con proyecto.

Con el fin de complementar la caracterización de la amenaza por movimientos en masa en el escenario con proyecto, se aplicó la misma metodología empleada para la evaluación del escenario actual, garantizando la consistencia técnica de los resultados obtenidos.

La evaluación se fundamentó en la siguiente expresión:

$CE = M \text{ (Material)} + R \text{ (Relieve)} + D \text{ (Drenajes)} + E \text{ (Erosión)} + V \text{ (Vegetación)} + C \text{ (Clima)} + S \text{ (Sismicidad)} + A \text{ (Factor Antrópico)}$

El análisis del escenario con proyecto se desarrolló para los años 2032, 2035, 2037 y 2038-2041, considerando la evolución de las obras contempladas en el plan minero y su incidencia sobre los factores condicionantes de los movimientos en masa.

Para cada uno de los escenarios evaluados, los parámetros M (Material), R (Relieve) y A (Factor Antrópico) fueron actualizados de acuerdo con el avance proyectado de las actividades mineras, particularmente en los depósitos El Balsal, San Antonio y la zona del tajo Gramalote. Por su parte, los parámetros D (Drenajes), V (Vegetación), C (Clima) y S (Sismicidad) no presentan modificaciones asociadas al desarrollo de las obras objeto de modificación de licencia, por lo que conservan los valores asignados en la caracterización del escenario actual.

La conformación progresiva de los depósitos El Balsal y San Antonio genera modificaciones en el parámetro M (Material) al incorporarse unidades de origen antrópico asociadas a la disposición de material estéril. Asimismo, estos depósitos producen cambios en el parámetro R (Relieve), debido a la transformación de superficies originalmente cóncavas en áreas predominantemente planas delimitadas por taludes de origen minero. Estas condiciones también repercuten sobre el parámetro A (Factor Antrópico), al modificar el uso y la ocupación del suelo.

Por otro lado, el avance de la explotación en la zona del tajo Gramalote modifica el parámetro R (Relieve) mediante la generación de excavaciones de geometría cóncava, caracterizadas por fondos relativamente planos y márgenes con pendientes altas. Estas transformaciones también generan cambios en el parámetro A (Factor Antrópico), en la medida en que implican la sustitución de coberturas existentes por áreas destinadas a la disposición de material estéril y a las actividades asociadas a la operación minera.

A continuación, se presentan los escenarios proyectados, las modificaciones consideradas en los parámetros evaluados y los resultados de la caracterización de la amenaza por movimientos en masa para cada horizonte temporal analizado.

i. Año 2032

Para el año 2032, correspondiente al cuarto año de operación del proyecto, se proyecta el avance y desarrollo de las principales obras mineras, representadas por el crecimiento de los depósitos El Balsal y San Antonio, así como el avance de la excavación en la zona del tajo Gramalote. Estas intervenciones generan modificaciones locales en los parámetros Material, Relieve y Factor Antrópico, las cuales son incorporadas en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

- **Depósito El Balsal**

Para el año 2032 se proyecta la conformación del depósito El Balsal con una altura máxima aproximada de 110 m y un área cercana a 0,3 km². La disposición de material genera una nueva unidad antrópica y modifica las condiciones geomorfológicas actuales por la conformación de superficies de depósito y taludes perimetrales.

En la Figura 10.27 se ilustra el depósito El Balsal proyectado para el año 2032.



Figura 10.27 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2032.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Depósito San Antonio**

Para el año 2032 se proyecta la conformación del depósito San Antonio con una altura máxima aproximada de 80 m y una extensión cercana a 1,3 km². La construcción progresiva del depósito implica la incorporación de materiales de origen antrópico y la modificación local de las condiciones topográficas existentes.

En la Figura 10.28 se ilustra el depósito San Antonio proyectado para el año 2032.

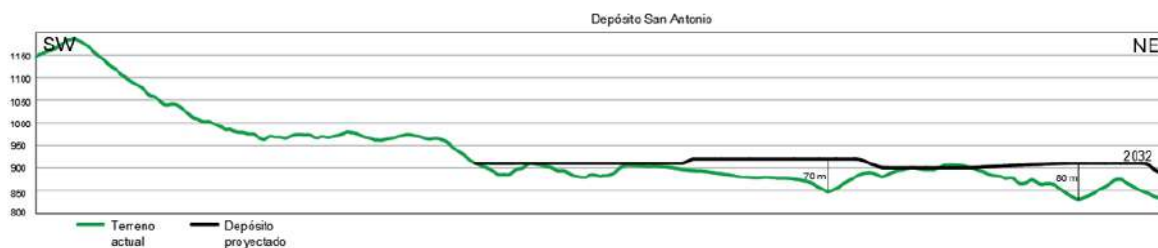


Figura 10.28 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2032.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Zona de del tajo Gramalote**

La explotación minera proyectada para el año 2032 alcanza una profundidad aproximada de 230 m en el sector oriental del perfil evaluado y un área intervenida cercana a 1 km². Esta excavación genera cambios significativos en la morfología del terreno, asociados a la conformación de taludes y superficies de explotación (Figura 10.29).

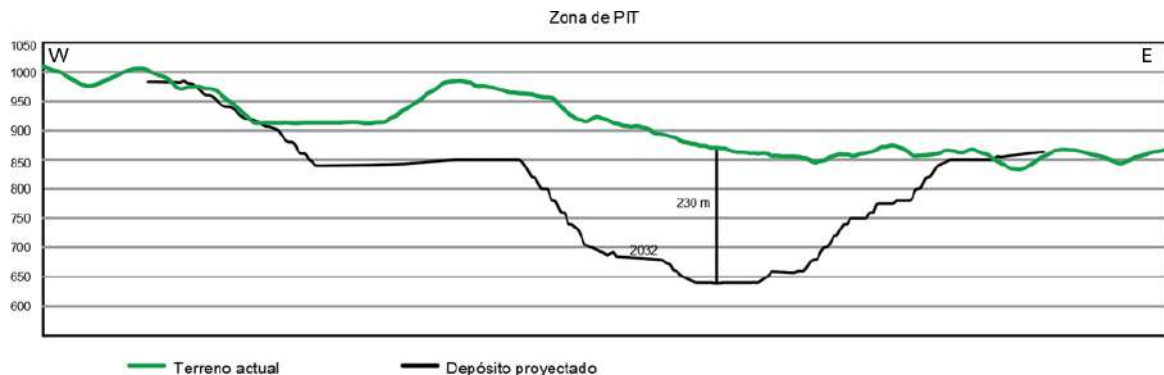


Figura 10.29 Perfil generalizado en la Zona de del tajo Gramalote para el año 2032.
Fuente: Integral S.A., 2026

- Resultados amenaza por movimiento en masa para el año 2032**

Para el año 2032, la zonificación de amenaza por movimientos en masa presenta una distribución en la cual aproximadamente el 54,61 % del área se clasifica con amenaza baja, correspondiente principalmente a sectores con evidencias de movimientos antiguos estabilizados o susceptibles de reactivación condicionada a la evolución de las laderas y al manejo de drenajes. Un 40,00 % del área se categoriza con amenaza media, asociada a zonas de mayor pendiente donde se presume la ocurrencia de deslizamientos activos o con alta susceptibilidad. Finalmente, el 5,40 % del área se considera de amenaza alta, concentrada en sectores críticos con condiciones topográficas abruptas (ver Tabla 10.39 y Figura 10.30).

Tabla 10.39 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza - Año 2032

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
>177	Baja	Baja	1.362,55	54,61
>157 - ≤177	Media	Media	998,06	40,00
≤151	Alta	Alta	134,67	5,40
Total			2.495,27	100,00

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)



Para el año 2035 se proyecta la continuidad de las actividades de disposición de material estéril y explotación minera, generando cambios en la configuración geométrica de los depósitos y de la excavación del tajo Gramalote. Estas modificaciones son incorporadas en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa mediante la actualización de los parámetros Material, Relieve y Factor Antrópico.

Durante este periodo se proyecta una redistribución del material dispuesto en la parte superior del depósito, lo que reduce su altura máxima de aproximadamente 110 m a 100 m. Esta modificación genera ajustes locales en la geometría de los taludes y en la configuración superficial del depósito. El depósito ocupa un área cercana a 0,2 km² (Figura 10.31).



Figura 10.31 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2035.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Depósito San Antonio**

Para el año 2035 se proyectan espesores variables entre 70 y 90 m, con una extensión aproximada de 1,6 km². El crecimiento lateral del depósito incrementa la superficie ocupada por materiales antrópicos frente al escenario anterior (Figura 10.32).

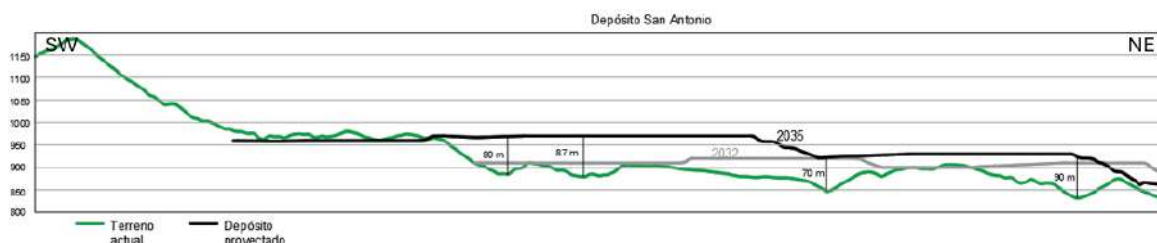


Figura 10.32 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2035.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Zona del tajo Gramalote**

La excavación mantiene un área aproximada de 1 km² y conserva la profundidad alcanzada en el escenario 2032. No obstante, se proyecta la nivelación parcial del sector occidental mediante la remoción de material, produciendo modificaciones locales en la morfología interna de la excavación y variaciones puntuales en la distribución de pendientes (Figura 10.33).

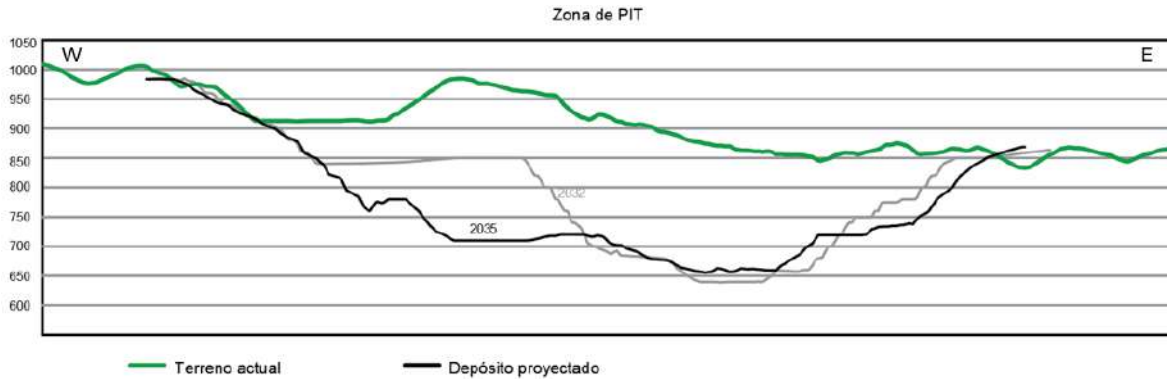


Figura 10.33 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote para el año 2035.
Fuente: Integral S.A., 2026

• Resultados amenaza por movimiento en masa año 2035

Para el año 2035, la zonificación de amenaza por movimientos en masa muestra que el 53,66 % del área corresponde a amenaza baja, el 39,53 % a amenaza media, y el 6,81 % a amenaza alta (ver Tabla 10.40 y Figura 10.34).

En comparación con el escenario 2032, se observa una leve disminución de la categoría de amenaza baja y un incremento de la amenaza alta, comportamiento asociado principalmente al crecimiento de los depósitos de material estéril y a las modificaciones geomorfológicas derivadas de la evolución de las labores mineras.

Tabla 10.40 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Año 2035

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
>177	Baja	Baja	1.338,95	53,66
>157 - ≤177	Media	Media	986,32	39,53
≤151	Alta	Alta	170,00	6,81
Total			2.495,27	100,00

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

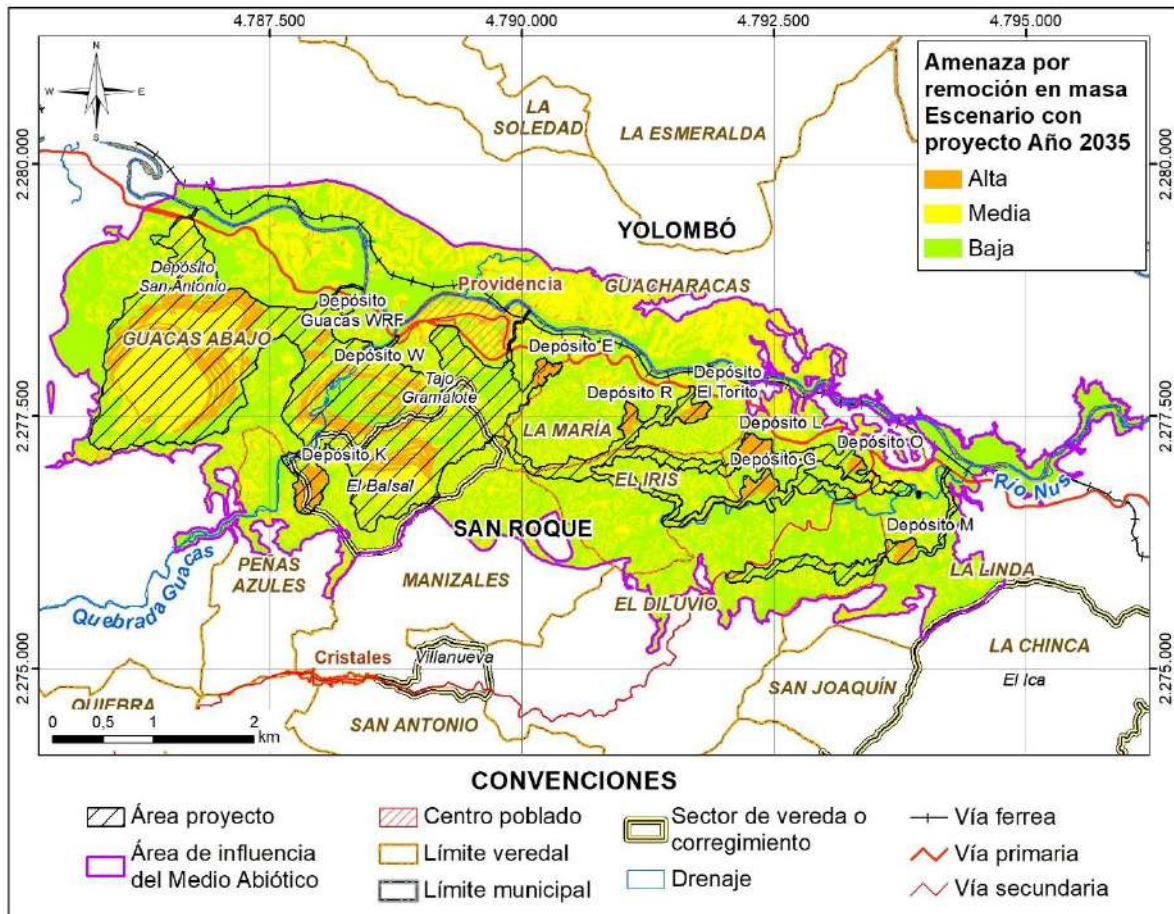


Figura 10.34 Amenaza ante movimientos en masa año 2035

Fuente: Integral S.A., 2026

iii. Año 2037

Para el año 2037 se proyecta una fase avanzada de desarrollo minero, caracterizada por el incremento de las dimensiones de los depósitos de material estéril y la profundización progresiva de la explotación en la zona del tajo Gramalote. Estas modificaciones generan cambios en los parámetros Material, Relieve y Factor Antrópico considerados en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

- **Depósito El Balsal**

Para el año 2037 el depósito El Balsal alcanza una altura máxima aproximada de 120 m y ocupa un área cercana a 0,4 km². El incremento en sus dimensiones implica una mayor representación de materiales de origen antrópico y una modificación más marcada de la geomorfología local respecto a los escenarios previamente evaluados. (Figura 10.35).



Figura 10.35 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal para el año 2037.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Depósito San Antonio**

El depósito presenta alturas variables entre 90 y 115 m, ocupando una superficie aproximada de 1,6 km². Estas condiciones representan un aumento del volumen de material dispuesto respecto a los escenarios anteriores (Figura 10.36).



Figura 10.36 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio para el año 2037.
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Zona del tajo Gramalote**

La excavación alcanza una profundidad aproximada de 310 m y desarrolla una superficie de fondo más continua y uniforme. Aunque el área intervenida permanece cercana a 1 km², la profundización de la explotación modifica localmente la distribución de pendientes y la configuración geomorfológica del terreno (Figura 10.37).

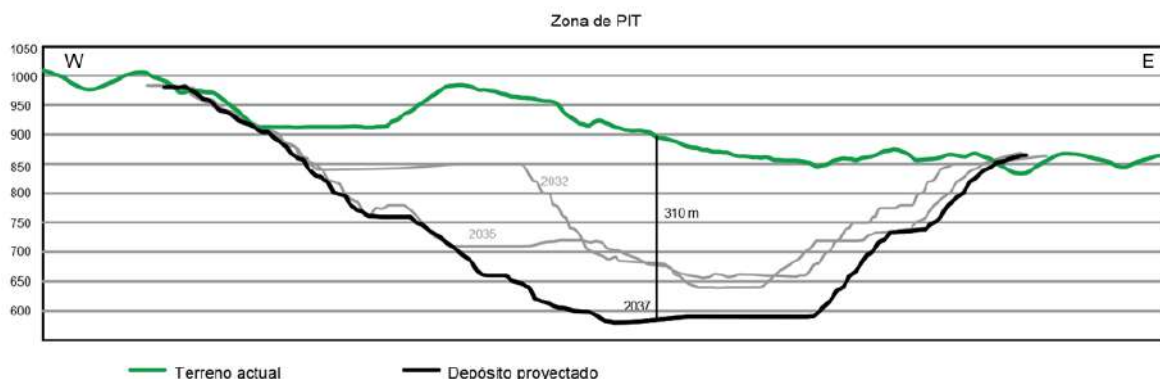


Figura 10.37 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote para el año 2037.
Fuente: Integral S.A., 2026

- Resultados amenaza por movimiento en masa año 2037**

Para el año 2037 la zonificación de amenaza por movimientos en masa indica que el 52,90 % del área corresponde a amenaza baja, el 38,61 % a amenaza media y el 8,49 % a amenaza alta (ver Tabla 10.41 y Figura 10.38).

En comparación con el escenario 2035, se evidencia un incremento de la categoría de amenaza alta y una reducción de la amenaza baja, comportamiento asociado al crecimiento de los depósitos de material estéril y a la profundización de la excavación minera.

Tabla 10.41 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Año 2037

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
>177	Baja	Baja	1.319,90	52,90
>157 - ≤177	Media	Media	963,41	38,61
≤151	Alta	Alta	211,96	8,49
Total			2.495,27	100,00

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

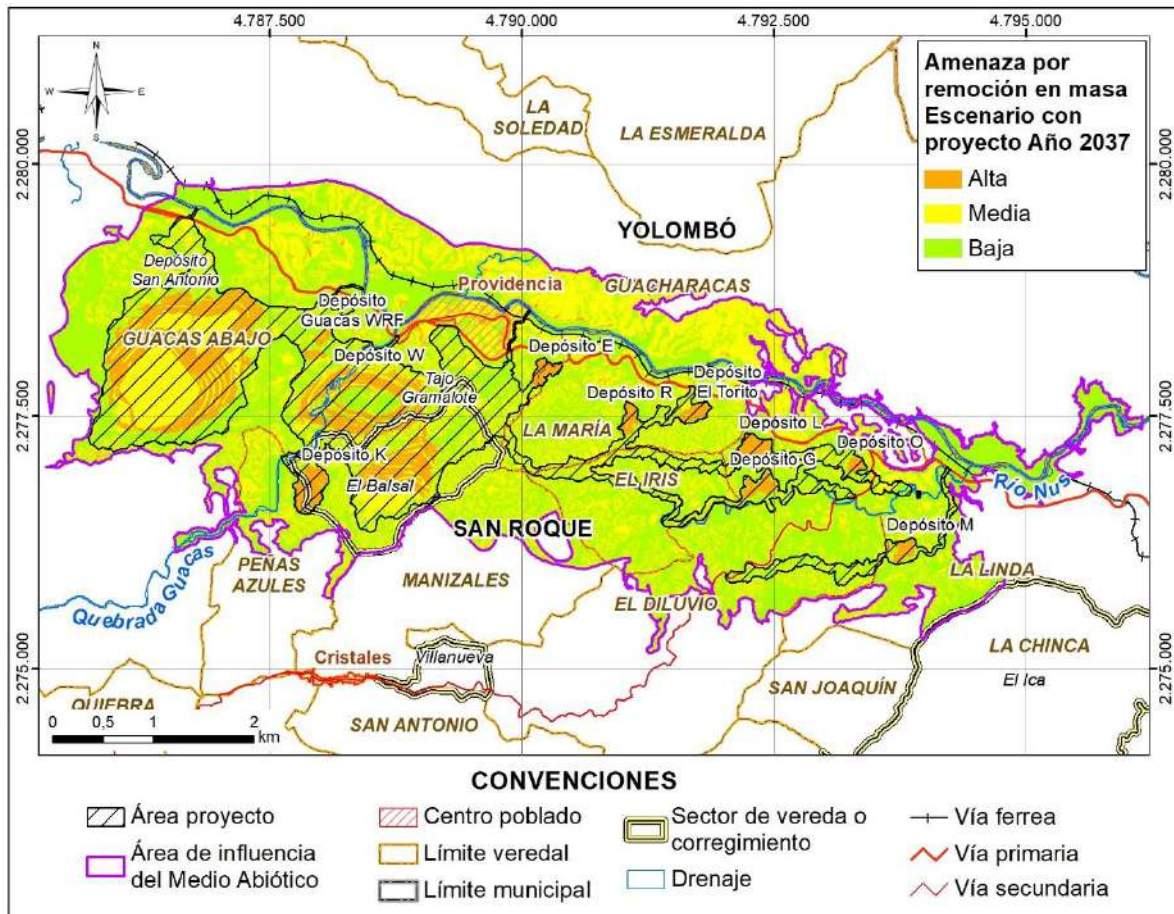


Figura 10.38 Amenaza ante movimientos en masa año 2037

Fuente: Integral S.A., 2026

iv. Escenario 2038-2041

Para el periodo comprendido entre 2038 y 2041 se proyecta la etapa final de desarrollo de las obras mineras evaluadas. En términos generales, la configuración de los depósitos presenta cambios menores respecto al escenario 2037, mientras que la principal modificación corresponde al avance de la explotación en la zona del tajo, la cual alcanza su máxima profundidad proyectada. Estas variaciones son incorporadas en la actualización de los parámetros Material (M), Relieve (R) y Factor Antrópico (A) para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

- **Depósito El Balsal**

En el escenario 2038-2041, el depósito El Balsal no presenta modificaciones con respecto a la configuración proyectada para el año 2037. En consecuencia, se mantienen las condiciones previamente definidas para los parámetros Material (M), Relieve (R) y Factor Antrópico (A) (Figura 10.39).

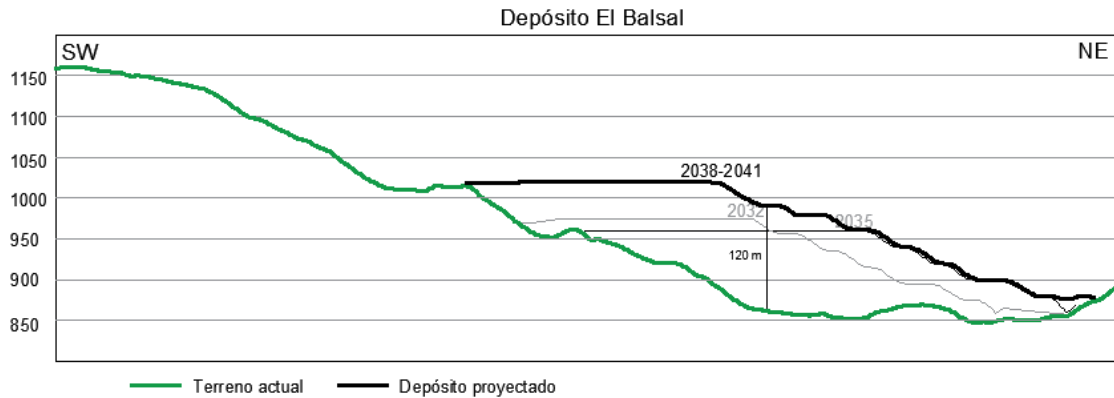


Figura 10.39 Perfil generalizado en el Depósito El Balsal – Escenario 2038-2041
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Depósito San Antonio**

Para este escenario, el depósito San Antonio presenta un incremento local de altura en el sector suroccidental (SW), pasando de aproximadamente 110 m a 130 m. Este incremento de altura implica un aumento puntual del volumen de material dispuesto y modificaciones locales en la morfología del depósito, particularmente en la configuración de taludes y superficies de disposición, condiciones que se reflejan en la actualización de los parámetros Material (M), Relieve (R) y Factor Antrópico (A) (Figura 10.40).

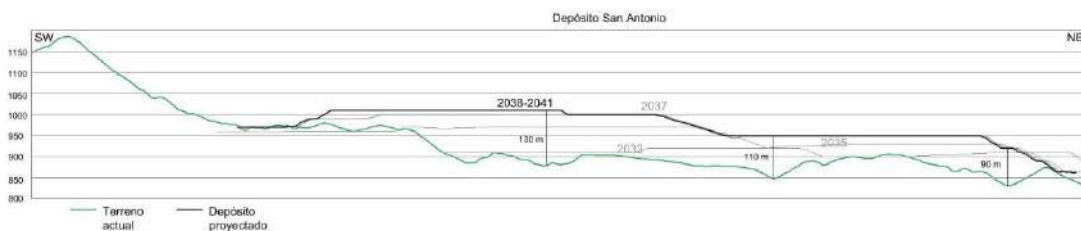


Figura 10.40 Perfil generalizado en el Depósito San Antonio – Escenario 2038-2041
Fuente: Integral S.A., 2026

- **Zona del tajo Gramalote**

La zona del tajo Gramalote continúa el avance de la explotación minera, alcanzando una profundidad aproximada de 370 m. Esta profundización modifica las condiciones geomorfológicas de la excavación al incrementar la amplitud vertical del tajo y la altura relativa de los taludes mineros, generando cambios en el parámetro Relieve (R) y, de manera complementaria, en el Factor Antrópico (A) (Figura 10.41).

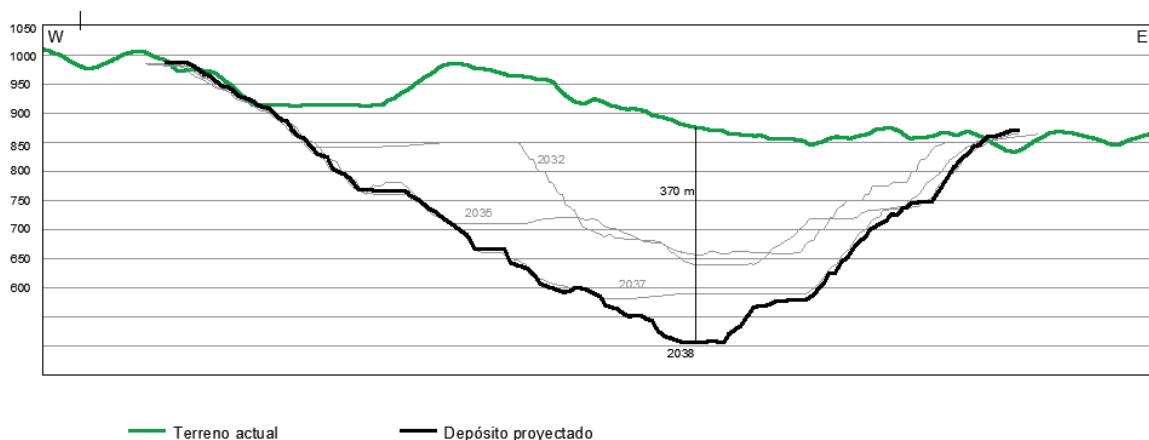


Figura 10.41 Perfil generalizado en la Zona del tajo Gramalote– Escenario 2038-2041
Fuente: Integral S.A., 2026

- Resultados amenaza por movimiento en masa años 2038-2041**

Para el escenario 2038-2041 presenta una distribución de amenaza donde, aproximadamente el 52,89 % del área se clasifica con amenaza baja, correspondiente a terrenos donde se identifican cicatrices de deslizamiento antiguo, cuya posible reactivación está condicionada al manejo y estabilidad de las laderas. Un 38,61 % del área se categoriza con amenaza media, asociada a zonas de mayor pendiente donde se presume la ocurrencia de deslizamientos activos o con alta susceptibilidad. Finalmente, el 8,49 % del área se considera de amenaza alta, concentrada en sectores críticos con condiciones topográficas abruptas (ver Tabla 10.42 y Figura 10.42).

Los resultados obtenidos para el escenario 2038-2041 muestran una distribución de la amenaza prácticamente equivalente a la identificada para el año 2037. Lo anterior indica que las modificaciones proyectadas para el periodo final de operación generan cambios locales en la configuración de las obras, pero no producen variaciones significativas en la distribución espacial de las categorías de amenaza dentro del área de estudio.

Tabla 10.42 Categorías de estabilidad geotécnica y amenaza – Escenario 2038-2041

Calificación de Estabilidad CE	Categoría de la amenaza	Reclasificación de la amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
>177	Baja	Baja	1.319,77	52,89
>157 - ≤177	Media	Media	963,54	38,61
≤151	Alta	Alta	211,96	8,49
Total			2.495,27	100,00

Fuente: Modificado de (Aguilar, 2015)

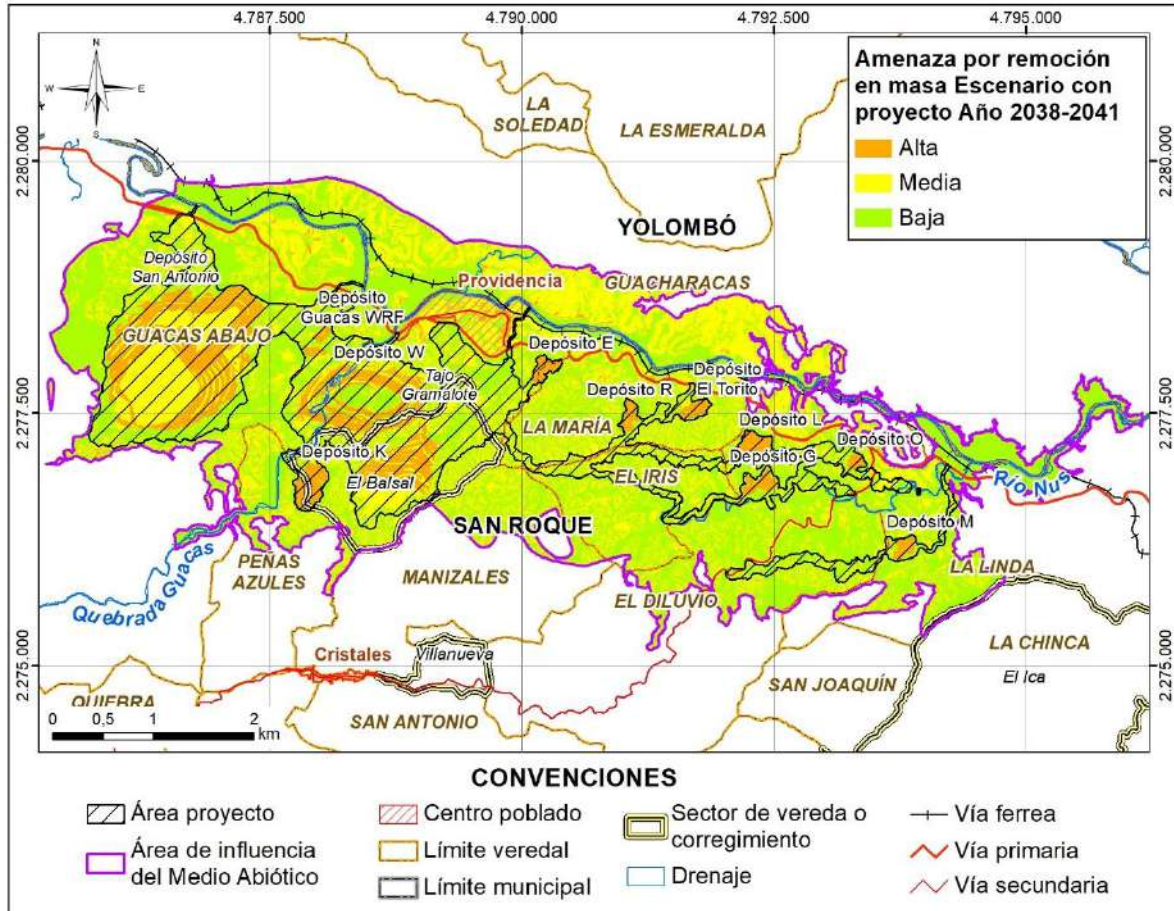


Figura 10.42 Amenaza ante movimientos en masa escenario 2038-2041

Fuente: Integral S.A., 2026

La evolución temporal de la amenaza por movimientos en masa evidencia que las principales variaciones están asociadas al crecimiento de los depósitos de material estéril y a la profundización progresiva de la explotación minera. Los cambios observados se concentran principalmente en las áreas directamente intervenidas por el proyecto y sus zonas adyacentes, mientras que la distribución general de las categorías de amenaza se mantiene relativamente estable en el área de estudio. Para el escenario final 2038-2041 no se identifican cambios significativos respecto al escenario 2037, lo que indica una estabilización de la respuesta espacial de la amenaza frente a la configuración definitiva de las obras mineras.

XI. Escenarios de riesgo asociados a la amenaza ante movimientos en masa

- Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten captaciones de agua

El evento hace referencia a deslizamientos de tierra dentro del área envolvente de obras, cuyos depósitos pueden llegar a alcanzar cuerpos de agua aledaños; se consideran los usos y usuarios identificados en las cuencas del área de influencia del Proyecto.

En caso de que ocurra un deslizamiento y afecte un cuerpo de agua, podría llegar a presentarse incremento de los sedimentos en dichos cuerpos, generando turbidez en las aguas captadas, llevando contaminantes al agua o en el peor de los casos obstruyendo dichas captaciones, limitando o suspendiendo su operación temporalmente.

- Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten vías e infraestructura

Este escenario está asociado a la ocurrencia de algún evento de deslizamiento al interior del área del proyecto, afectando las vías e infraestructura localizadas tanto dentro del proyecto, como fuera de él. La ocurrencia de un evento de este tipo puede llegar a ocasionar cierres parciales o totales en las vías, afectando las dinámicas de la población (en caso de que afecte vías externas) e incluso retrasando o pausando las actividades de construcción u operación del proyecto; en algún caso extremo el evento podría afectar los vehículos y personas en tránsito, llegando a generar lesiones o desencadenando otro evento amenazante.

I. Escenarios de riesgo asociados a la amenaza ante movimientos en masa en el sector La María.

Con el fin de evaluar los escenarios de riesgo asociados a una eventual falla de los depósitos R y El Torito, se analizó la vulnerabilidad y el riesgo sobre los elementos expuestos. En este numeral se hace énfasis en la infraestructura física, ambiental y socio económico. Para ello, se retomaron los criterios metodológicos descritos previamente y se estimó la distancia potencial de desplazamiento del material movilizado mediante metodologías empíricas recomendadas para movimientos en masa.

Como mencionado antes, se empleó la ecuación correspondiente a la condición parcialmente confinada, seleccionada con base en el análisis geomorfológico del área. Esta formulación corresponde a la publicación original de (Hunter & Fell, 2003) y genera distancias de desplazamiento mayores que otras referencias consultadas, por lo que se considera una aproximación conservadora para la delimitación de las zonas potencialmente afectadas.

A partir de los resultados del análisis de estabilidad mostrados en el Numeral 5_1_7_GEOTECNIA, se identificaron las superficies de falla críticas para los depósitos R y El Torito. Para cada depósito se evaluaron escenarios en condición estática (Estático), pseudoestática para un periodo de retorno de 475 años (Pseudo) y bajo un evento de precipitación extrema con periodo de retorno de 20 años (NFX). Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente Tabla 10.43.

Tabla 10.43 Resultados de longitud de desplazamiento.

Obra	Escenario	Proceso Iterativo						
		FS	L (m) inicial medida en CAD	H (m) medida en CAD	H/L	L nuevo (m) usando Ecuación 10.1.3.6	d pata talud (m)	% error
Depósito el Torito	Estático	1,6	102,41	30,33	0,29	104	39	2,00
	Pseudo	1,12	100,73	29,83	0,29	103	37	2,00

	NFX	1,57	123,25	36,50	0,29	126	41	2,00
Depósito R	Estático	1,57	115,35	34,16	0,29	118	81	2,00
	Pseudo	1,1	114,47	33,90	0,29	117	80	2,00
	NFX	1,33	122,98	36,42	0,29	125	84	2,00

Fuente: Integral S.A., 2026.

El análisis se complementó con la evaluación de la probabilidad de falla anual y probabilidad de falla del talud en toda su vida útil en cada uno de los escenarios de falla identificados en los análisis de estabilidad, considerando los factores de seguridad y las probabilidades de falla obtenidas para las superficies críticas de cada ZODME. Los resultados del cálculo de probabilidades se presentan en la siguiente Tabla 10.44.

Tabla 10.44 Cálculo de probabilidades para calificación de la amenaza.

Obra	Escenario	FS	PF Slide	Tr	1/Tr	Vida útil años	PF Slide*1/Tr= probabilidad anual SGC	Calificación probabilidad SGC	p vida útil Ecuación 10.1.3.1 Gramalote	PF Slide*p =probabilidad en vida útil de Gramalote	Calificación probabilidad Tabla 10.9 Gramalote
Depósito el Torito	Estático	1,6	3,44E-12	1,0	1,0000	50,00	3,44E-12	Baja	1,00E+00	0,00%	Casi Imposible
	Pseudo	1,12	5,05E-02	475,0	0,0021	50,00	1,06E-04	Baja	1,00E-01	0,51%	Casi Imposible
	NFX	1,57	8,03E-08	20,0	0,0500	50,00	4,01E-09	Baja	9,23E-01	0,00%	Casi Imposible
Depósito R	Estático	1,57	9,01E-09	1,0	1,0000	50,00	9,01E-09	Baja	1,00E+00	0,00%	Casi Imposible
	Pseudo	1,1	1,40E-01	475,0	0,0021	50,00	2,95E-04	Baja	1,00E-01	1,40%	Muy Improbable
	NFX	1,33	1,21E-04	20,0	0,0500	50,00	6,06E-06	Baja	9,23E-01	0,01%	Casi Imposible

Fuente: Integral S.A., 2026.

En conjunto, los resultados indican que ambos depósitos presentan una amenaza geotécnica baja, ya que incluso al considerar eventos de baja frecuencia y alta intensidad, las probabilidades de falla durante la vida útil permanecen inferiores al 2% correspondientes a categorías de ocurrencia “casi imposible” o “Muy improbable” según los criterios de utilizados en el plan de gestión de riesgo elaborados para Gramalote.

Con base en los resultados del análisis de estabilidad, se representaron en planta los escenarios de desplazamiento mediante herramientas SIG, con el fin de identificar los elementos expuestos. Para ello, se utilizó como punto de partida el ápice de la superficie de falla crítica obtenido en Slide, correspondiente al punto inicial de movilización del material.

La delimitación de los polígonos se realizó considerando la dirección preferencial del desplazamiento, definida a partir del ápice, la distancia máxima estimada y el análisis del mapa de pendientes. Posteriormente, la geometría se ajustó con base en la morfología del terreno observada en la ortofoto y en la cartografía topográfica.

En este ajuste se tuvieron en cuenta elementos geomorfológicos como lomos y vaguadas, los cuales pueden actuar como barreras naturales o corredores de flujo, condicionando la dirección y la extensión lateral del material movilizado. De esta manera, se definieron polígonos de depositación más acordes con las condiciones reales del terreno.

Finalmente, el volumen de material inestable obtenido en el análisis de estabilidad se empleó como criterio de verificación de los polígonos. Para ello, se revisó que el área delimitada tuviera capacidad suficiente para alojar el volumen estimado, considerando perfiles transversales al eje de desplazamiento y las cotas del terreno. Así, se garantizó la coherencia entre la magnitud del evento analizado, la distancia de alcance y el área de depositación definida.

La identificación y clasificación de los elementos expuestos en el área de influencia de cada ZODME se realizó a partir de la integración de insumos cartográficos del EIA 2025 y de la información derivada del modelo digital del terreno. Estos insumos incluyen la ortofoto, la GDB de infraestructura, las curvas de nivel, el mapa de pendientes y el mapa de sombras.

La ortofoto y la GDB de infraestructura permitieron identificar con alto nivel de detalle la infraestructura existente al año 2025, incluyendo edificaciones, vías y redes eléctricas. A partir de esta información fue posible reconocer la geometría y distribución espacial de las edificaciones, delimitar la traza de vías principales, secundarias y accesos internos, así como identificar corredores de redes eléctricas, incluso en sectores con cobertura vegetal, mediante sus patrones lineales característicos

- Depósito R

Para el depósito R, los resultados del análisis sobre la ortofoto del EIA 2025 se presentan en la Figura 10.43. De manera complementaria, la Figura 10.45 muestra el análisis realizado con la cartografía derivada del modelo digital del terreno, que incluye curvas de nivel, pendientes y sombras. En ambas figuras se presentan los polígonos asociados a las distancias estimadas de viaje del deslizamiento más probable para las condiciones estática, pseudoestática y de nivel freático extremo

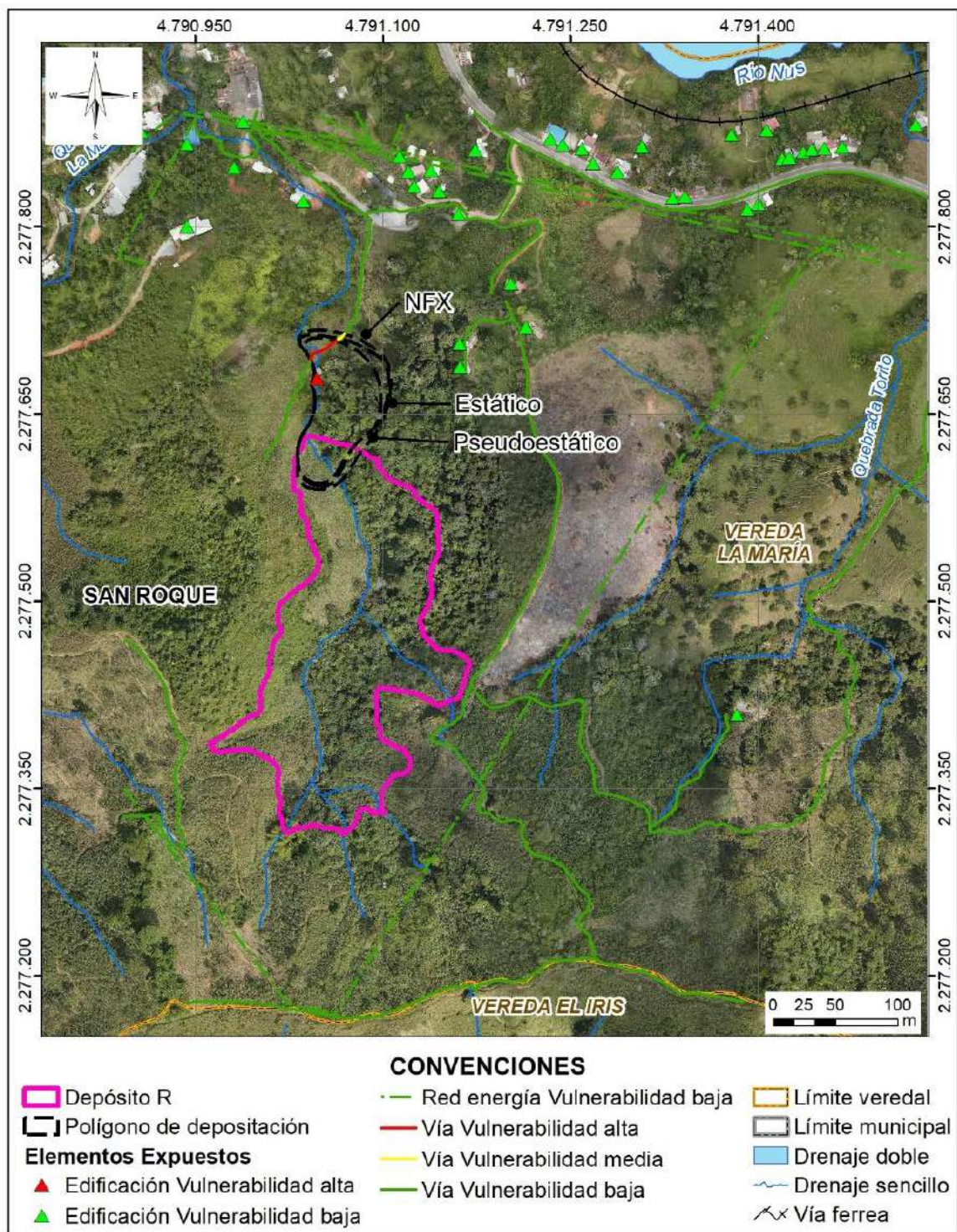


Figura 10.43 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito R, a partir de la Ortofoto del EIA, 2025

Fuente: Integral S.A, 2026. Ortofoto EIA, 2025.

A partir del análisis realizado, se identificaron edificaciones, vías y redes eléctricas cuyos niveles de vulnerabilidad por exposición varían de acuerdo con su cercanía a las zonas de afectación definidas en la modelación de cada escenario de falla. En el área analizada se identifican:

- Vulnerabilidad alta (triángulo rojo): En el depósito R se identificó una edificación la cual se encuentra en zona de interacción directa con el material desprendido.
- Vulnerabilidad baja (triángulos verdes): Corresponde al resto de edificaciones aledañas al depósito R y que están localizadas por fuera del eje principal del desplazamiento o en zonas protegidas por el relieve al estar en cotas mayores.

Las vías presentan una vulnerabilidad condicionada por su ubicación relativa frente a los polígonos de falla:

- Vulnerabilidad alta (líneas rojas): Se identificaron 27 m ubicados en la trayectoria principal del material deslizado o en zonas de acumulación potencial que podrían recibir una afectación directa en los tres escenarios de falla.
- Vulnerabilidad media (líneas amarillas): Se identificaron 9 m susceptibles a afectación parcial o lateral, y definidos principalmente por los escenarios de falla estático y NFX.
- Vulnerabilidad baja (líneas verdes): El resto de los caminos y accesos aledaños al depósito R se identificaron por fuera del alcance directo de los tres escenarios de falla o que corresponden a tramos protegidos geomorfológicamente.

Las redes eléctricas presentan una vulnerabilidad baja ante todos los escenarios, favorecidas por su configuración elevada y lineal. Están representadas por líneas punteadas de color verde.

Adicionalmente a los elementos expuestos del componente físico, los polígonos correspondientes a las distancias estimadas de viaje del deslizamiento más probable, para las condiciones estática, pseudoestática y de nivel freático extremo, evidencian la posible afectación de elementos del componente ambiental. En particular, dichos polígonos interceptan la ronda hídrica de la quebrada sin nombre con ID 056704001679, así como áreas de vegetación secundaria alta, las cuales constituyen los principales receptores ambientales potencialmente afectados.

En cuanto al componente socioeconómico, no se identifican elementos expuestos adicionales dentro de los polígonos de afectación, aparte de la vía y las viviendas consideradas previamente en el análisis de vulnerabilidad física. No obstante, al costado izquierdo del depósito, por fuera de la trayectoria estimada del deslizamiento, se localiza un cultivo de caña que, aunque constituye un elemento expuesto del sistema productivo, presenta un nivel de vulnerabilidad bajo, dado que no se encuentra dentro de la zona potencial de afectación asociada al escenario de falla.

La Figura 10.44 presenta la distribución espacial y la clasificación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos pertenecientes a los componentes ambiental y socioeconómico frente al escenario de deslizamiento analizado.

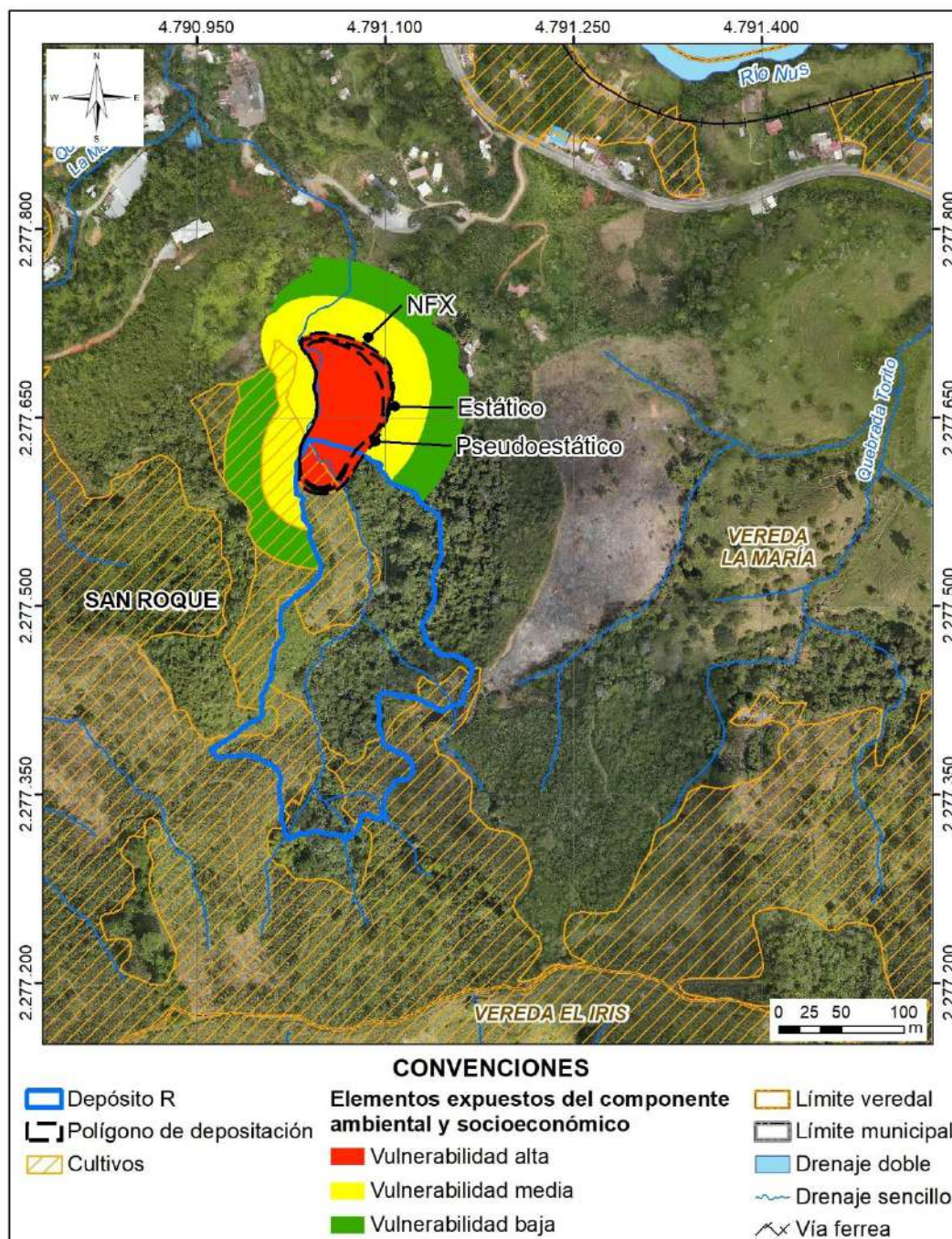


Figura 10.44 Vulnerabilidad ambiental y Socioeconómica de los elementos expuestos asociados a la falla del Depósito R

Fuente: Integral S.A, 2026. Ortofoto EIA, 2025.

En la Figura 10.45 se muestran las curvas de nivel, el mapa de pendientes y el mapa de sombras en el depósito R que permiten identificar los rasgos geomorfológicos los cuales controlan el comportamiento del deslizamiento. En ellos se observan lomos en las zonas altas laterales al depósito, con orientación aproximada hacia el norte, identificadas por sus bajas pendientes (colores verdes) y por la convexidad del relieve. Estas geoformas

actúan como barreras naturales que condicionan y direccionan la propagación del material desprendido.

En la misma Figura 10.45, las vaguadas representan zonas preferentes por las cuales se desplazaría el material movilizado. Se identifican por la forma en “V” de las curvas de nivel y corresponden a sectores que canalizan el material, permitiendo un mayor alcance en dirección longitudinal. Finalmente, las zonas de planicie relativa corresponden a sectores donde disminuye la energía del material desplazado, favoreciendo su depositación. Estas áreas se identifican por la disminución de la pendiente (colores verdes claros) y la mayor separación entre las curvas de nivel.

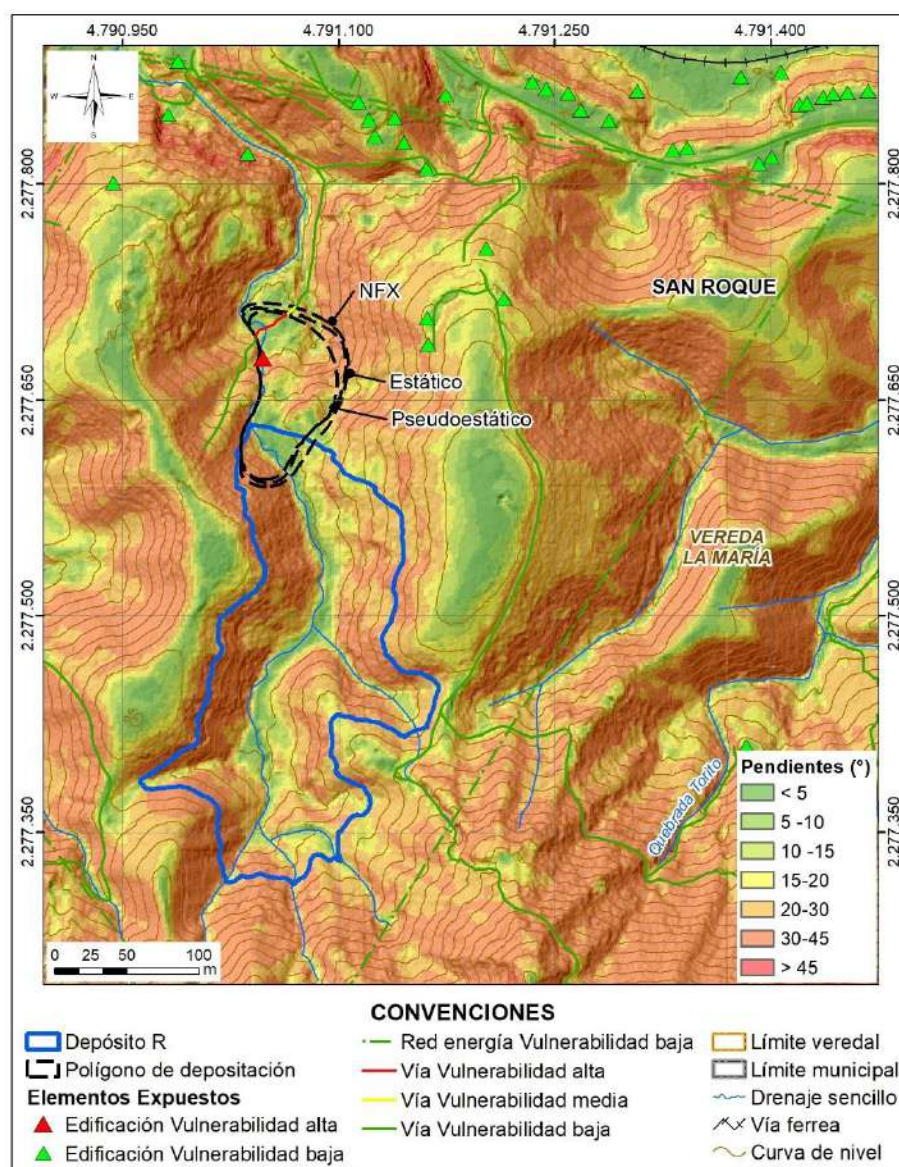


Figura 10.45 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito R, a partir de la cartografía derivada del modelo digital de terreno
Fuente: Integral S.A, 2026.

- Depósito El Torito

Para el depósito El Torito, los resultados del análisis sobre la ortofoto del EIA 2025 se presentan en la Figura 10.46. De manera complementaria, la Figura 10.48 muestra el análisis realizado con la cartografía derivada del modelo digital del terreno, que incluye curvas de nivel, mapa de pendientes y mapa de sombras. En ambas figuras se presentan los polígonos asociados a las distancias estimadas de viaje del deslizamiento más probable, para las condiciones estática, pseudoestática y de nivel freático extremo (NFX)

Adicionalmente, para El Torito se definió un segundo escenario hipotético, considerando el mismo volumen potencial de material movilizado estimado a partir de los análisis de equilibrio límite y su interpretación tridimensional, pero con inicio de movimiento desde el flanco inferior derecho del depósito. La inclusión de este escenario permite incluir también otra condición geométricamente posible, especialmente en relación con la exposición de elementos localizados hacia los sectores nororiental y oriental del depósito.

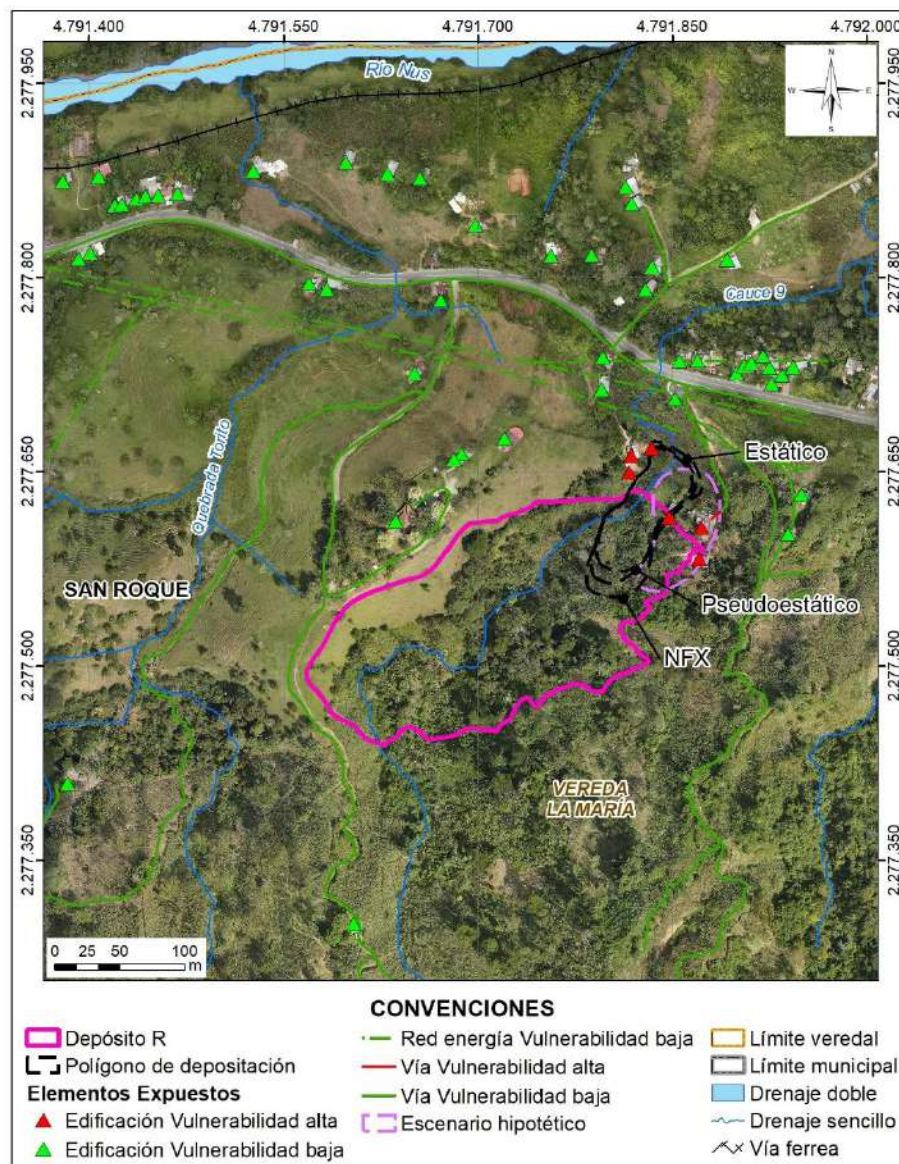


Figura 10.46 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito El Torito, a partir de la Ortofoto del EIA, 2025

Fuente: Integral S.A, 2026. Ortofoto EIA, 2025

En el Depósito El Torito, los niveles de vulnerabilidad por exposición también varían según la cercanía de los elementos a las zonas de afectación definidas para cada escenario de falla. En el área analizada se identificaron las siguientes categorías:

- Vulnerabilidad alta: corresponde a cuatro edificaciones localizadas dentro de las zonas de deposición asociadas a los escenarios de falla estático, pseudoestático y por lluvia extrema (NFX), representadas por los polígonos negros punteados, así como por el polígono auxiliar hipotético en líneas moradas punteadas. Estas edificaciones presentan interacción directa con el material movilizado, por lo que su nivel de exposición es alto. Adicionalmente, se identificaron dos edificaciones ubicadas hacia el sector W–NW de las posibles zonas de deposición, clasificadas

también con vulnerabilidad alta debido a su proximidad a las áreas de afectación y al posible cambio en la trayectoria o incremento del volumen movilizado.

- Vulnerabilidad baja: corresponde a edificaciones localizadas fuera del eje principal de desplazamiento o en zonas parcialmente protegidas por el relieve, donde la probabilidad de interacción directa con el material movilizado es menor.

En cuanto a la infraestructura vial, los escenarios de falla estático, pseudoestático y NFX prevén una afectación directa de aproximadamente 8 m sobre vías o accesos existentes. Los demás tramos se localizan fuera del alcance de los polígonos de depositación y, por tanto, se clasifican con vulnerabilidad baja bajo los escenarios evaluados.

Las redes eléctricas presentan vulnerabilidad baja en todos los escenarios, debido a su configuración lineal y elevada, lo que reduce la probabilidad de interacción directa con el material movilizado. En la cartografía se representan mediante líneas verdes punteadas.

Además del análisis de vulnerabilidad física, se evaluó la vulnerabilidad de los elementos expuestos correspondientes a los componentes ambiental y socioeconómico. En relación con el componente ambiental, a partir de la cartografía de uso y cobertura actual del suelo se identificó un área de vegetación secundaria baja, asociada a suelos con uso de sistemas forestales protectores, que sería potencialmente afectada por los escenarios de falla estático, pseudoestático y de nivel freático extremo (NFX).

En cuanto al componente socioeconómico, la trayectoria de viaje del deslizamiento modelado intercepta parcialmente un cultivo de caña; por lo tanto, en caso de materializarse el escenario de falla, este sistema productivo podría resultar afectado. En consecuencia, se asigna un nivel de vulnerabilidad alto a la porción del cultivo ubicada dentro de la trayectoria estimada del deslizamiento y un nivel de vulnerabilidad medio al área restante del cultivo, debido a su proximidad a la zona potencial de afectación.

La Figura 10.47 presenta la distribución espacial y la clasificación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos pertenecientes a los componentes ambiental y socioeconómico para el escenario de falla del Depósito El Torito.

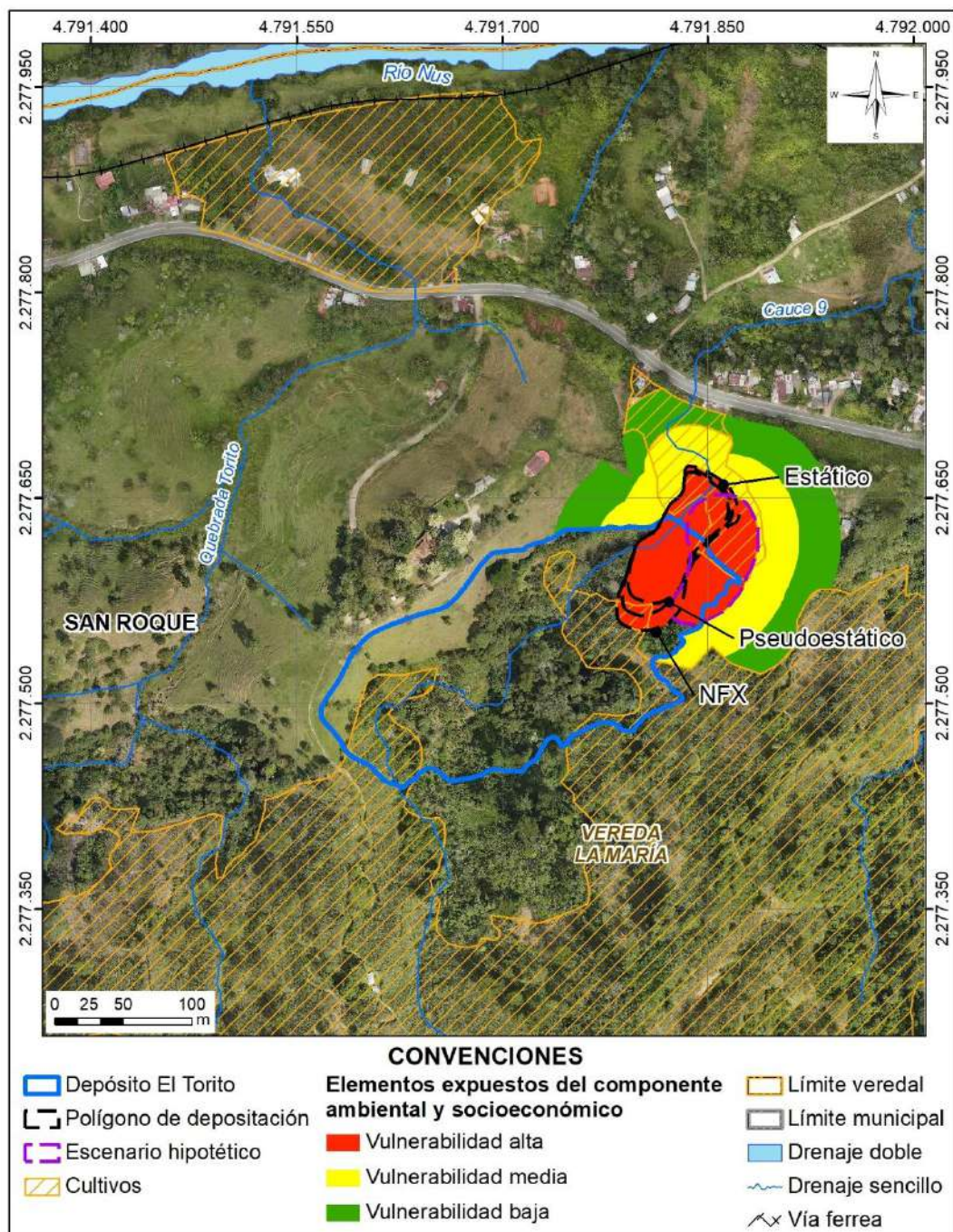


Figura 10.47 Vulnerabilidad ambiental y Socioeconómica de los elementos expuestos asociados a la falla en el Depósito El Torito
Fuente: Integral S.A, 2026. Ortofoto EIA, 2026

La Figura 10.48 presenta las curvas de nivel, el mapa de pendientes y el mapa de sombras del depósito El Torito. Se reconocen vaguadas principales coincidentes con la dirección de desplazamiento definida para los escenarios de falla, caracterizadas por curvas de nivel en forma de "V" y pendientes moderadas a altas. Estas geoformas favorecen la canalización y propagación longitudinal del material.

En los flancos laterales se identifican lomos o divisorias topográficas, asociados a pendientes menores y relieve convexo, que actúan como barreras naturales y restringen la expansión lateral del material deslizado. Asimismo, en sectores de menor pendiente se reconocen zonas de planicie relativa, donde disminuye la energía del movimiento y se favorece la depositación.

Para el escenario hipotético, la geomorfología del flanco oriental muestra una configuración que podría favorecer una trayectoria alternativa del material inestable, lo que justifica su inclusión dentro de la evaluación.

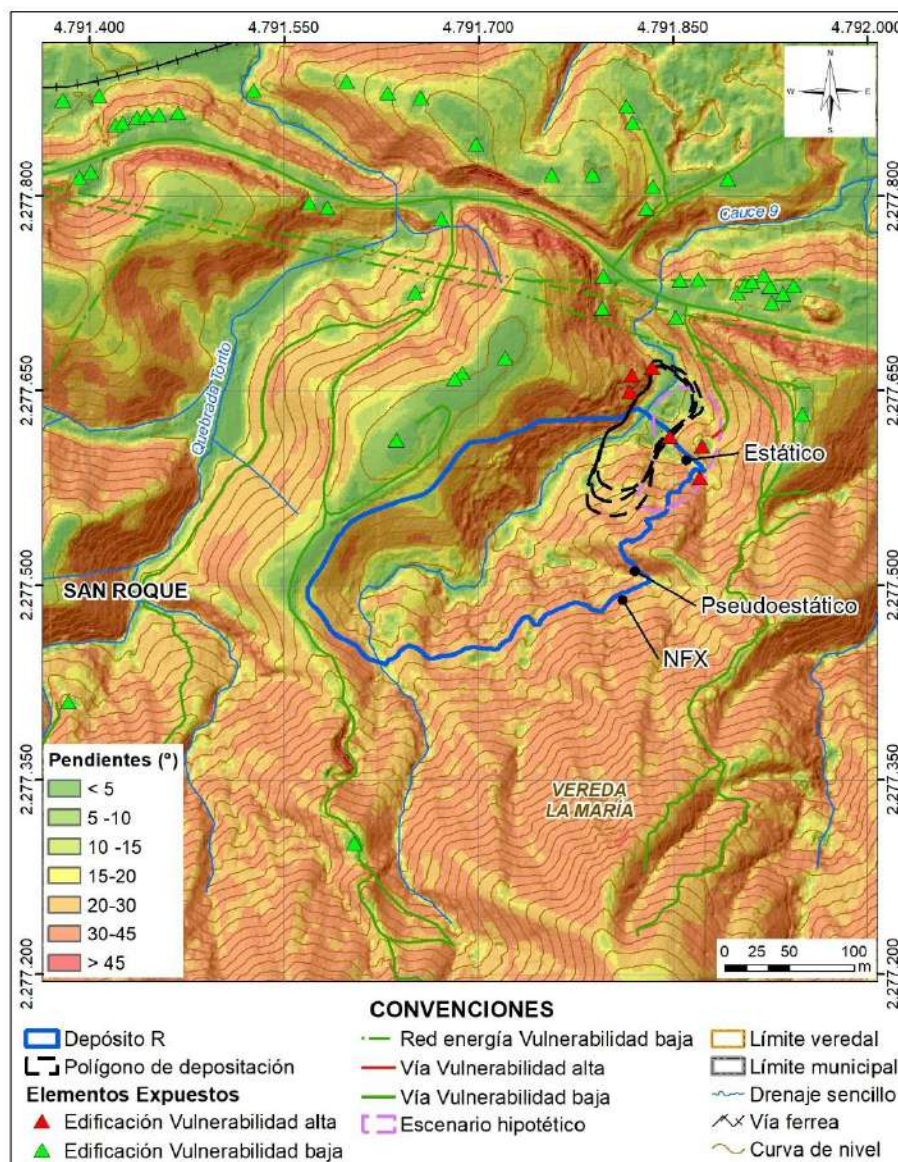


Figura 10.48 Vulnerabilidad física de elementos expuestos en el Depósito El Torito, a partir de la cartografía derivada del modelo digital de terreno
Fuente: Integral S.A, 2026

Teniendo en cuenta la infraestructura física, condiciones ambientales y socioeconómicas del sector analizado en la María, se concluye el siguiente nivel de riesgo:

Como resultado del análisis de vulnerabilidad desarrollado para los componentes ambientales, se identificó que las rondas hídricas, coberturas boscosas y áreas de vegetación secundaria localizadas dentro de la trayectoria potencial de los escenarios de falla presentan niveles de vulnerabilidad entre media y alta, de acuerdo con el grado de superposición espacial con los polígonos de afectación modelados. Debido a que estos elementos corresponden a ecosistemas y recursos naturales cuya ubicación no puede modificarse y para los cuales no es técnicamente viable implementar medidas estructurales de protección frente a un eventual movimiento en masa de las características modeladas, el riesgo asociado deberá ser gestionado prioritariamente mediante medidas orientadas a la prevención de la ocurrencia del evento, el monitoreo permanente de las condiciones de estabilidad del depósito y la implementación de acciones de recuperación ambiental en caso de materializarse el escenario de falla.

En consecuencia, la reducción del riesgo sobre estos elementos depende fundamentalmente del control de la amenaza mediante el diseño, construcción, operación y monitoreo geotécnico del depósito, así como de la implementación de los planes de contingencia y recuperación establecidos para el proyecto.

Por otro lado, Para los elementos del componente socioeconómico asociados a sistemas productivos, el análisis de vulnerabilidad identificó áreas de cultivo que presentan distintos niveles de exposición frente a los escenarios de falla evaluados. No obstante, a diferencia de las viviendas, estos elementos no constituyen infraestructura permanente destinada a habitación humana, por lo que la gestión del riesgo no requiere la implementación de medidas de reasentamiento.

En caso de materializarse el escenario de falla, las afectaciones sobre los cultivos deberán ser objeto de evaluación dentro del proceso de evaluación postevento, con el fin de establecer el alcance de los daños, definir las acciones de recuperación correspondientes y determinar, cuando aplique, las medidas de compensación o reposición que resulten procedentes conforme a los instrumentos de gestión social y ambiental del proyecto.

Para la fase de construcción se definió un programa de control de calidad de las obras, así como actividades de monitoreo e inspección orientadas a verificar el cumplimiento de los criterios de diseño y el desempeño de los depósitos. Para las fases de operación y cierre, se estableció un programa de monitoreo geotécnico basado en instrumentación mediante inclinómetros y piezómetros instalados en los depósitos R y El Torito. La información obtenida a partir de las inspecciones y del monitoreo instrumental deberá integrarse al Sistema de Alertas Tempranas (SAT), con el propósito de fortalecer la gestión del riesgo y apoyar la toma oportuna de decisiones frente a los escenarios identificados. La descripción metodológica de este componente se presenta en el numeral 10.1.3.1.7 Análisis del riesgo, literal E, donde se complementa el subproceso de monitoreo del riesgo para los escenarios evaluados, con énfasis en la vía de acceso El Torito, el Depósito R y el Depósito El Torito

b. Inundaciones

Una inundación es el desbordamiento de agua sobre áreas que normalmente están secas. Es de anotar que cada año, las inundaciones provocan mayores desastres debido al deterioro progresivo de las cuencas y cauces de los ríos y quebradas por parte del ser humano. El hombre interviene estos cuerpos de agua, bloquea drenajes naturales, limita las ciénagas, incrementa la erosión mediante talas y quemas, y ocupa lugares propensos

a inundaciones. Aunque la cantidad de lluvia anual en el país se mantiene aproximadamente igual, los daños causados por las inundaciones aumentan por estas razones. Los perjuicios acumulados anualmente por estos fenómenos las convierten en una de las calamidades que generan más pérdidas y deterioro social (UNGRD, 2025).

Respecto al área de influencia abiótica del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se identifica que el nivel de amenaza ante inundaciones sobre las márgenes de los principales cuerpos de agua ubicados en la zona (El Banco, San Antonio, Guacas, Cauce 5, Cauce 6, Cauce 8, La María, El Torito, Cauce 9, Cauce 10 y La Palestina), varía entre Alto a Bajo conforme el flujo se aleja de la fuente hídrica -ver Figura 10.49-. Así mismo, dentro de este proceso evaluativo se establece que la población de Providencia como principal comunidad que se encuentra en riesgo de verse afectada por este tipo de eventos, pudiéndose valorar sobre su centro urbano amenazas que oscilan entre alto y bajo -ver Figura 10.50-. En términos generales los resultados que fueron obtenidos para la zona de análisis se exponen en la Tabla 10.45.

Tabla 10.45 Resultados obtenidos de la zonificación de la amenaza por inundación sobre el área de influencia abiótica del proyecto

Categoría	Rango (Profundidad x Velocidad -m²/s-)	Área afectada (m²)	Área afectada (Ha)	Área de influencia abiótica afectada (%)
Baja	<0,2	429.407	42,94	1,72%
Media	0,2-0,5	430.936	43,09	1,73%
Alta	0,5-1,5	713.610	71,36	2,86%
Muy Alta	1,5-2,5	214.009	21,40	0,86%
Extrema	>2,5	783.104	78,31	3,14%
Total		2'571.067	257,11	10,30%

Fuente: Integral S.A., 2025

Finalmente, se debe mencionar que 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. Dicho esto, en la Tabla 10.46 se presenta la parametrización que fue utilizada para estimar el nivel de amenaza por inundación.

Tabla 10.46 Niveles de amenaza por inundación según la FEMA

Categoría	Rango (Profundidad x Velocidad -m²/s-)	Convención
Baja	<0,2	
Media	0,2-0,5	
Alta	0,5-1,5	
Muy Alta	1,5-2,5	
Extrema	>2,5	

Fuente: modificado de FEMA (2013)

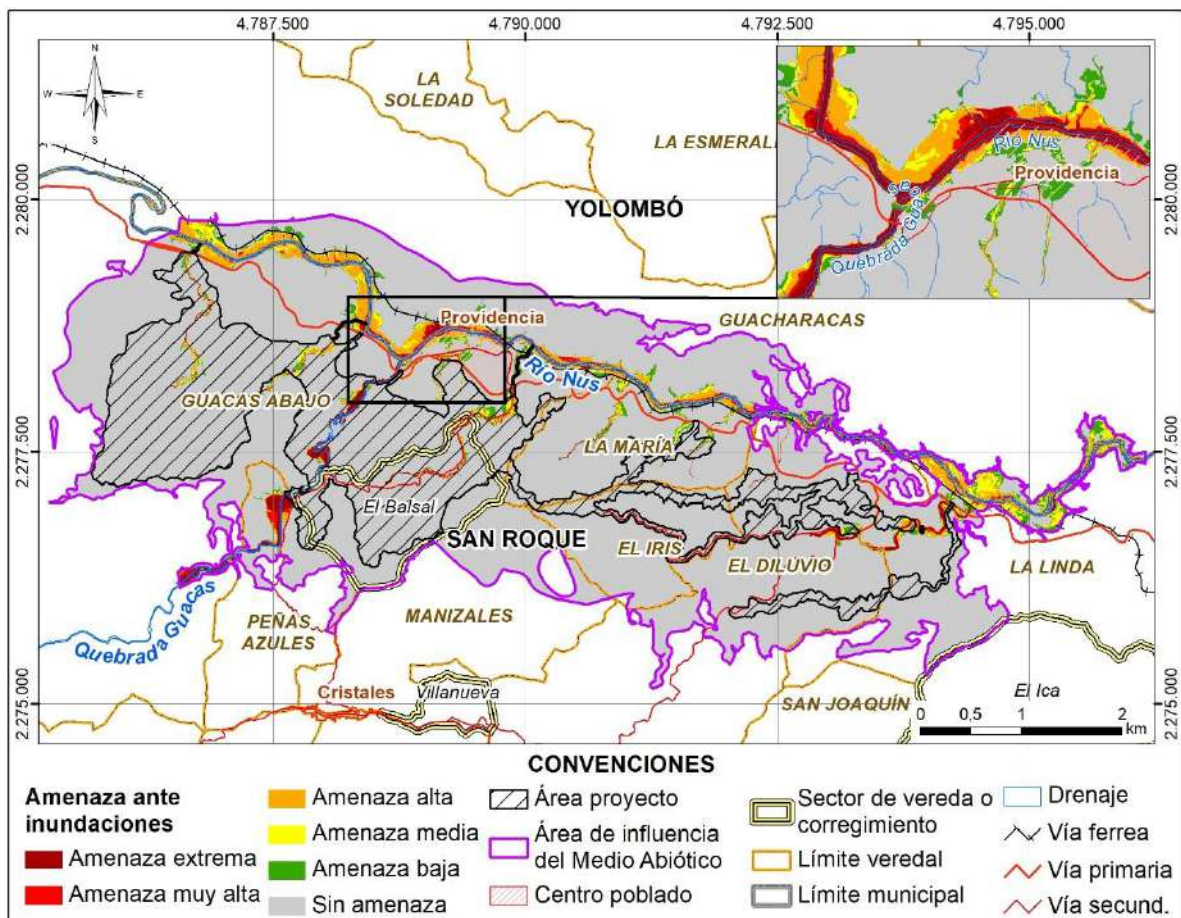
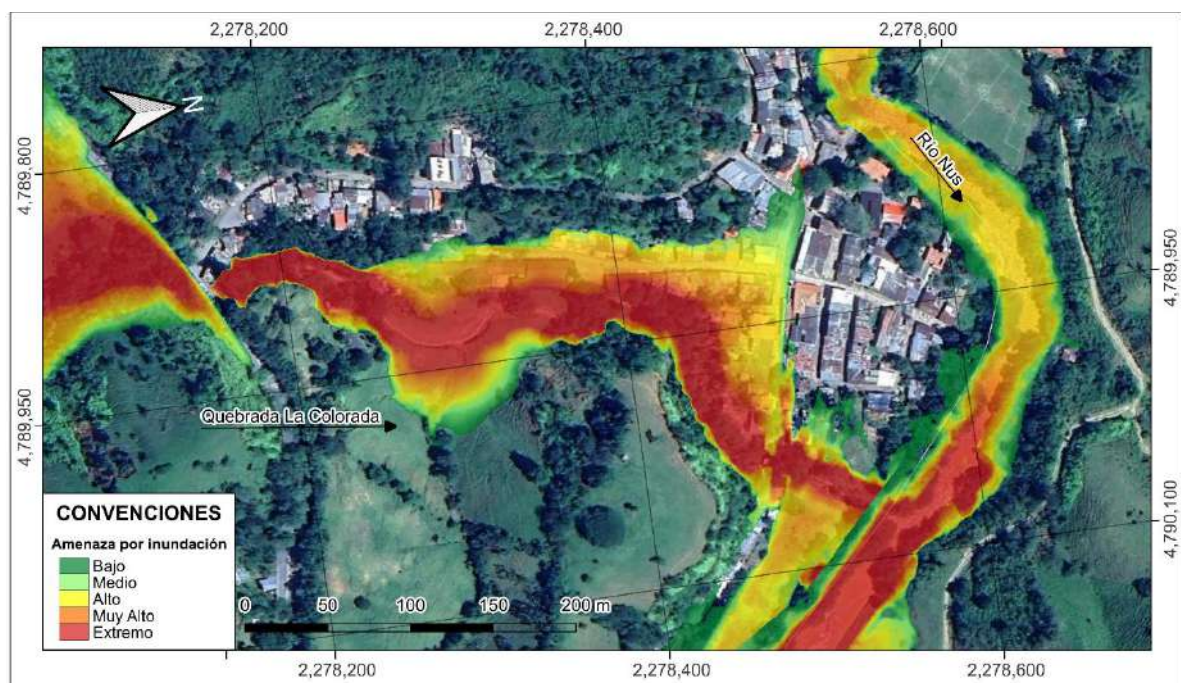


Figura 10.49 Amenaza ante inundaciones sobre el área de influencia abiótica

Fuente: Integral S.A., 2025



I. Escenarios de riesgo asociados a la amenaza ante inundaciones

i. Rotura de presas de sedimentación con afectación a terceros

- Presa del sedimentador La Colorada

Considerando las características geométricas de la presa del sedimentador La Colorada y los materiales que la componen, fueron considerados para el presente análisis los siguientes modos de colapso estructural: (1) Falla por erosión interna de la presa – tubificación -, (2) Falla ocasionada por el rebose de niveles ante un escenario hidrológico extremo – Overtopping –, y (3) Falla por agrietamientos o deformaciones excesivas en el cuerpo principal del dique.

Se debe aclarar respecto al escenario que considera la configuración de un posible overtopping ante lluvias intensas, que las valoraciones hidrológicas e hidráulicas indican que este hecho solo puede producirse bajo dos condiciones simultáneas: (A) Inoperancia del vertedero del sedimentador, y (B) Ocurrencia de un evento que aporte cerca de 717.000 m³. Se destaca que este estimativo se deriva de analizar la curva cota-volumen del embalse asumiendo un estado de colmatación avanzado (ver detalles en Anexo_PGR_I-I-10719-ROMPPRESACOLORADA-00-V).

Para cuantificar la probabilidad y el tipo de creciente que se asocia a las condiciones volumétricas antes expuestas, se retoman los tránsitos hidráulicos que fueron efectuados durante la etapa de diseño del sedimentador (ver documento I-I-0010734-SC-HI-Informe_de_diseño-R00). Se resalta que de forma particular fueron adaptados dichos cálculos para considerar el paso de la creciente máxima probable -CMP-, en los que fueron considerados adicionalmente diferentes duraciones de tormenta para valorar sus efectos sobre el reservorio. Este ejercicio reveló que un evento de 24 horas asociado a la CMP puede contener alrededor de 325.000 m³, lo que lleva a concluir que, para alcanzar el nivel más bajo de la vía que cruza sobre el sedimentador se requeriría la ocurrencia de aproximadamente dos (2) eventos máximos de esta naturaleza. En consecuencia, en el árbol de eventos, aquellos detonantes hidrológicos asociados al incremento del embalse hasta niveles extremos asumen la materialización de dos (2) crecientes máximas probables (CMP).

Dicho esto, en la Tabla 10.47 se expone la cadena de sucesos que se considera debe presentarse para que se materialice un hipotético fallo de presa ante los detonantes que son considerados para el presente estudio: (A) Amenazas Sísmicas -ver literal a Sismos-, (B) Amenazas por eventos hidrológicos extremos, y (C) Amenazas por deficiencias constructivas.

Tabla 10.47 Árbol de eventos asociado a los diferentes tipos de falla que pueden presentarse sobre el sedimentador La Colorada

Tipo de falla	Cadena de eventos que deben presentarse para detonar un fallo de presa			Probabilidad de ocurrencia individual		Probabilidad de ocurrencia conjunta	
	ID	Descripción	Código	P (%)	Tr (años)	P (%)	Tr (años)
Erosión interna (Tubificación)	A	1. Fallos en la instalación de la geomembrana (HDPE).	CI	0,10%	1.000	0,0001%	1'000.000
		2. Fallos en la conformación del filtro interno de la presa.	CD	0,10%	1.000		
	B	1. Fallos en la instalación de la geomembrana (HDPE).	CI	0,10%	1.000	0,0000000%	1,00E+14
		2. Fallos en la conformación del drenaje interno de la presa.	CD	0,10%	1.000		
		3. Ocurrencia de evento hidrológico que eleve el nivel del embalse a cotas máximas.	CMP	0,0001%	1'000.000		
	Sobrepaso (Overtopping)	1. Fallo por sismo de talud que obstruya el vertedero de la presa.	ST	0,21%	475	0,0000000%	4,75E+14
		2. Ocurrencia de eventos hidrológicos que lleven el nivel del embalse hasta el punto más bajo de la vía (836,53 m.s.n.m.).	CMP	0,0001%	1'000.000		
			CMP	0,0001%	1'000.000	0,0000000%	4,75E+14
		1. Colapso interno del vertedero de la presa por sismo.	SV	0,21%	475		
		2. Ocurrencia de eventos hidrológicos que lleven el nivel del embalse hasta el punto más bajo de la vía (836,53 m.s.n.m.).	CMP	0,0001%	1'000.000	0,0000000%	2,48E+15
			CMP	0,0001%	1'000.000		
Agrietamientos o deformación excesiva	A	1. Reconfiguración de la presa por sismo generando obstrucción del vertedero.	SP	0,04%	2.475	0,0000000%	2,48E+15
		2. Ocurrencia de eventos hidrológicos que lleven el nivel del embalse hasta el punto más bajo de la vía (836,53 m.s.n.m.).	CMP	0,0001%	1'000.000		
			CMP	0,0001%	1'000.000		
	B	1. Ocurrencia del sismo de diseño de la presa.	SP	0,04%	2.475	0,0000000%	2,48E+15
		2. Ocurrencia de eventos hidrológicos que lleven al embalse hasta niveles máximos (Cota ref.: 836,53 m.s.n.m.).	CMP	0,0001%	1'000.000		
			CMP	0,0001%	1'000.000		
	B	1. Presencia de fallos constructivos graves en la presa.	CP	0,10%	1.000	0,0000000%	4,75E+17
		2. Fallo por sismo de talud que obstruya el vertedero de la presa.	ST	0,21%	475		
		3. Ocurrencia de eventos hidrológicos que lleven al embalse hasta niveles máximos (Cota ref.: 836,53 m.s.n.m.).	CMP	0,0001%	1'000.000		
			CMP	0,0001%	1'000.000		

Fuente: Integral S.A., 2025

Al analizar el anterior árbol de eventos, se hace evidente que la forma de colapso más propensa para la presa corresponde a la falla por tubificación o erosión interna. En este sentido se identifica que el caso que presenta mayor susceptibilidad de ocurrencia ($P=0,0001\% \approx Tr=1'000.000$ de años) corresponde a aquel que bajo condiciones hidrológicas medias -ausencia de crecientes máximas-, asume la existencia de posibles deficiencias constructivas relacionadas con la conformación del filtro interno de la presa y la instalación de la geomembrana de polietileno de alta densidad –HDPE–. Dado que este tipo de falla se presenta de forma paulatina durante ventanas de tiempo prolongadas, y que sobre la presa se instalará instrumentación piezométrica para la medición y seguimiento de los niveles y caudales infiltrados, se opta por catalogar esta amenaza como muy baja.

Definida la tubificación como el modo de colapso preferente, se procede a continuación a determinar los posibles caudales pico que pueden generarse durante la rotura de presa. Con este propósito fueron aplicadas las metodologías que sugiere el Cuerpo de Ingenieros Estadounidense (USACE, 2014) para este tipo de fallas. Dichos esquemas corresponden a los propuestos por los siguientes autores y organizaciones: Kirkpatrick (1977), HEC (1980), Soil Conservation Service (1981), Hagen (1982), USBR (1982), MacDonald & Langridge-Monopolis (1984), Singh & Snorrason (1984), Costa (1985), Evans (1986), Froehlich (1995), y Xu & Zhang (2009).

Los resultados obtenidos luego de valorar las anteriores metodologías se exponen en la Tabla 10.48. Se destaca que la variabilidad observada en los resultados obedece a las condiciones puntuales bajo las cuales cada autor obtuvo su expresión canónica (p. ej. a partir de experimentos a escala en laboratorios, utilizando regresiones mediante observaciones, aplicando estimativos o inferencias indirectas, etc.). Los pormenores asociados al aplicativo de estos esquemas se ilustran en el documento Anexo_PGR_I-I-10719-ROMPPRESACOLORADA-00-V.

Tabla 10.48 Caudales máximos en m³/s que podrían presentarse ante un eventual fallo por tubificación en la presa del sedimentador La Colorada (varios autores)

Autor	Caudales máximos descartados ante una falla por tubificación
USBR (1982)	248,22
MacDonald & Langridge-Monopolis (1984)	126,33
Froehlich (1995b)	64,91
Xu & Zhang (2009)	25,70
Kirkpatrick (1977)	7,74
Soil Conservation Service (SCS, 1981)	215,73
Hagen (1982)	357,02
Singh & Snorrason (1984)	196,27
Costa (1985)	283,44
Evans (1986)	145,08
HEC (1980)	248,59
Promedio	174,46

Fuente: Integral S.A., 2025

Al observar los datos obtenidos, se evidencia que, según el método seleccionado, pueden estimarse caudales pico que oscilan desde los 7,74 m³/s hasta 357,02 m³/s. En este sentido se opta por asumir el promedio aritmético de todos los métodos (174,46 m³/s) para realizar la subsecuente valoración de los efectos hidráulicos que podrían presentarse hacia aguas abajo del sedimentador (valoración de la amenaza por inundación ante una posible ruptura de presa del sedimentador La Colorada).

Con el anterior propósito fue seleccionado el software HEC-RAS V.6.6, en el que mediante su enfoque unidimensional (1D) se valoró la extensión de la mancha de inundación asociada a este tipo de eventos. Así mismo, para la categorización de la amenaza fueron asumidos los niveles de la FEMA que se expusieron en la Tabla 10.46 (Bajo, Medio, Alto, Muy Alto y Extremo), los cuales identifican el posible grado de afectación a personas y/o infraestructura con base en la combinación de la profundidad y la velocidad (resultados obtenidos de las simulaciones realizadas).

Bajo este contexto, al analizar y comparar el caudal máximo de rotura que fue caracterizado (174,46 m³/s), se evidencia que este valor corresponde a aproximadamente dos (2) veces el caudal máximo probable que puede presentarse de forma natural sobre la quebrada La Colorada (CMP=83,34 m³/s). Sin embargo, al realizar este comparativo sobre el río Nus, se advierte que esta magnitud se asemeja a la creciente con periodo de retorno de 2,33 años (163,26 m³/s). De igual forma, si se asume la preexistencia de condiciones medias sobre este mismo cuerpo de agua ($Q_{med}=20,52 \text{ m}^3/\text{s}$), se tendría que la creciente resultante en el río Nus tras de producirse la confluencia con la quebrada La Colorada, equivale a la creciente de 5 años de periodo de retorno ($Q_{Tr5_Nus}=204,84 \text{ m}^3/\text{s}$ Vs $Q_{med}+Q_{Rotura}=194,98 \text{ m}^3/\text{s}$).

Lo anterior permite inferir que la principal zona de afectación se reduce a la La Colorada y sus zonas aledañas, mientras que para el río Nus se evidencia que solo se presentaría un incremento de niveles y velocidades que es característico del tránsito de una creciente natural de mayor tasa de recurrencia y menor impacto. En este sentido, es previsible que las afectaciones sobre este tramo no serán mayores hasta las ahora observadas para la línea base. Este comportamiento puede ser observado al comparar la extensión de la mancha de inundación para el evento de falla (ver Figura 10.52) y aquellas asociadas al tránsito de crecientes naturales sobre la línea base del proyecto (ver en Figura 10.51 Tr de 2,33 años y 100 años).

Así mismo, al valorar los efectos de una hipotética falla de presa del sedimentador La Colorada, se identifica que los habitantes de Providencia que se encuentran ubicados sobre la margen derecha de la quebrada se encuentran potencialmente en riesgo de verse afectados por un evento de estas características (ver Figura 10.53 y detalle sobre esta comunidad en Figura 10.54). En este sentido puede estimarse un área de afectación de aproximadamente 12.800 m² sobre una longitud de 250 m (medida en la dirección del cauce). En lo que respecta a la categorización de la amenaza por inundación puede clasificarse dicho sector como de alta potencialidad en la generación de afectaciones a personas y/o infraestructura.

Pese a lo anteriormente descrito, las consecuencias de este escenario pueden limitarse únicamente a daños materiales siempre y cuando el proyecto articule apropiadamente los debidos procedimientos de control y monitoreo de las estructuras de mayor relevancia (p.

ej. sedimentadores), con los respectivos planes de alerta temprana y los subsecuentes esquemas de evacuación que sean establecidos con las comunidades aledañas. Bajo esta premisa el riesgo para la comunidad ante estos eventos puede ser clasificado en un rango medio-bajo. Finalmente, se señala una vez más que los pormenores de los estimativos realizados se encuentran en el documento Anexo_PGR_I-I-10719-ROMPPRESACOLORADA-00-V.

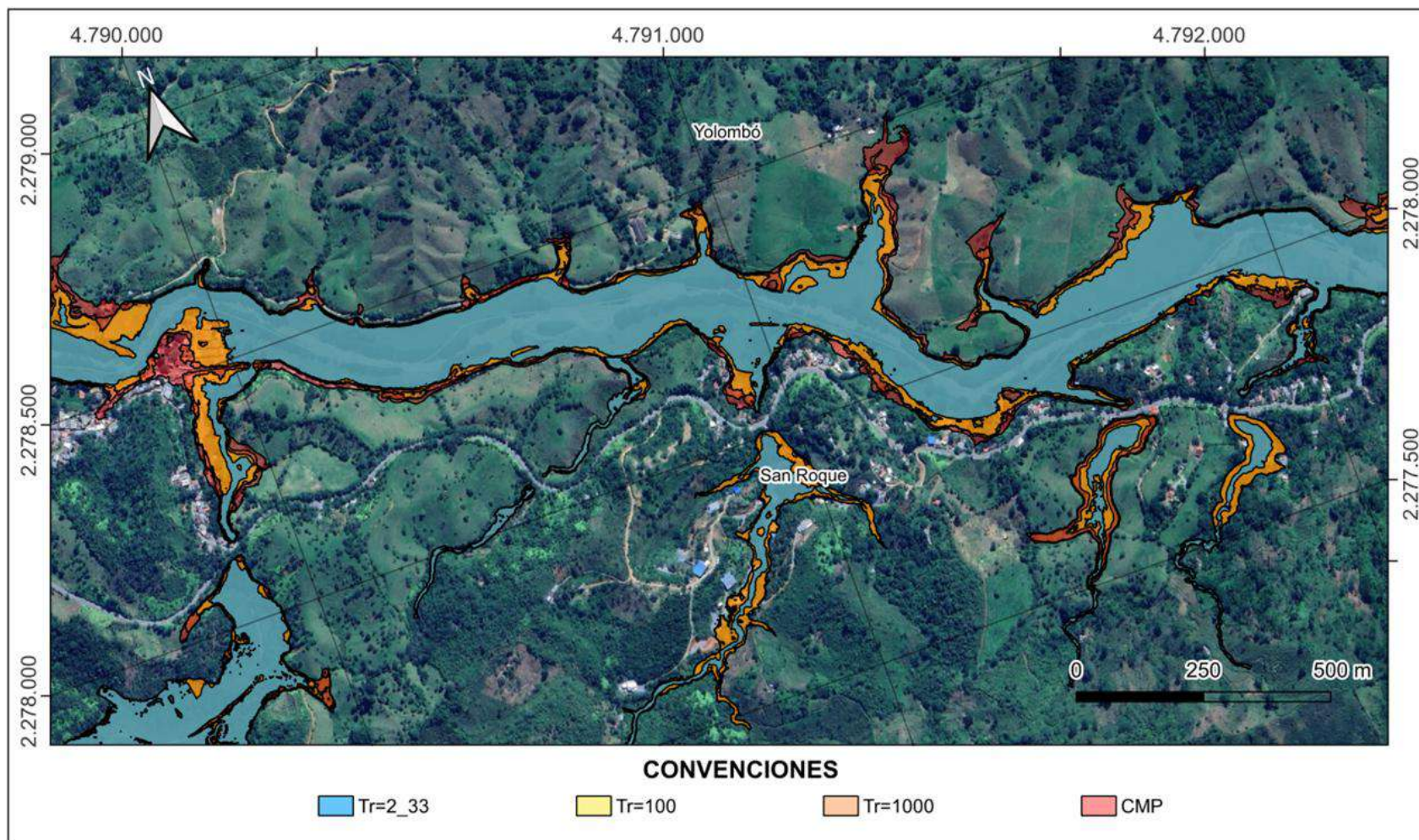


Figura 10.51 Manchas de inundación valoradas para la línea base del proyecto (Tr=2,33 años, Tr=100 años, Tr=1.000 años y CMP)

Fuente: Integral S.A., 2025

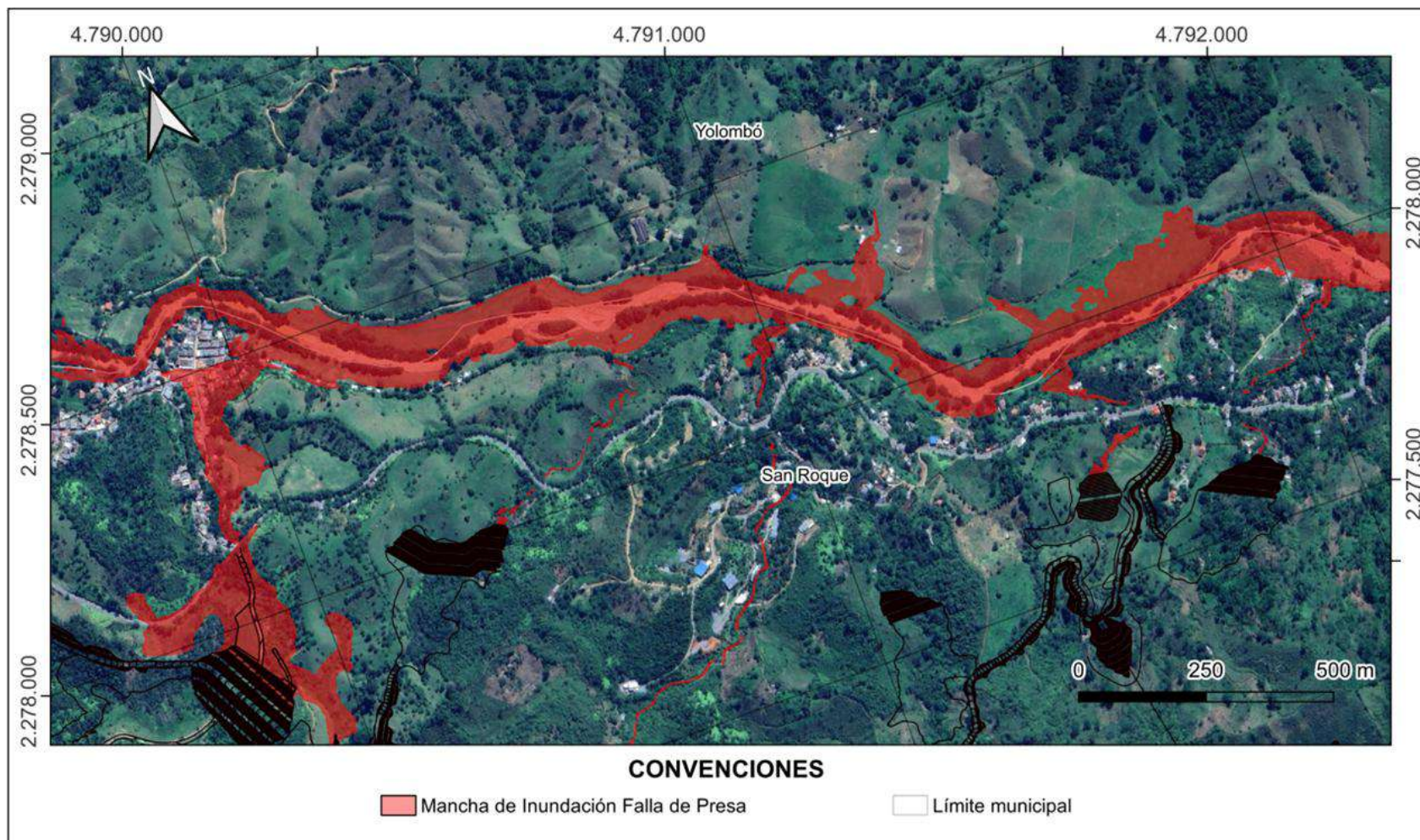


Figura 10.52 Mancha de inundación para el caso de rompimiento de presa del sedimentador La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025

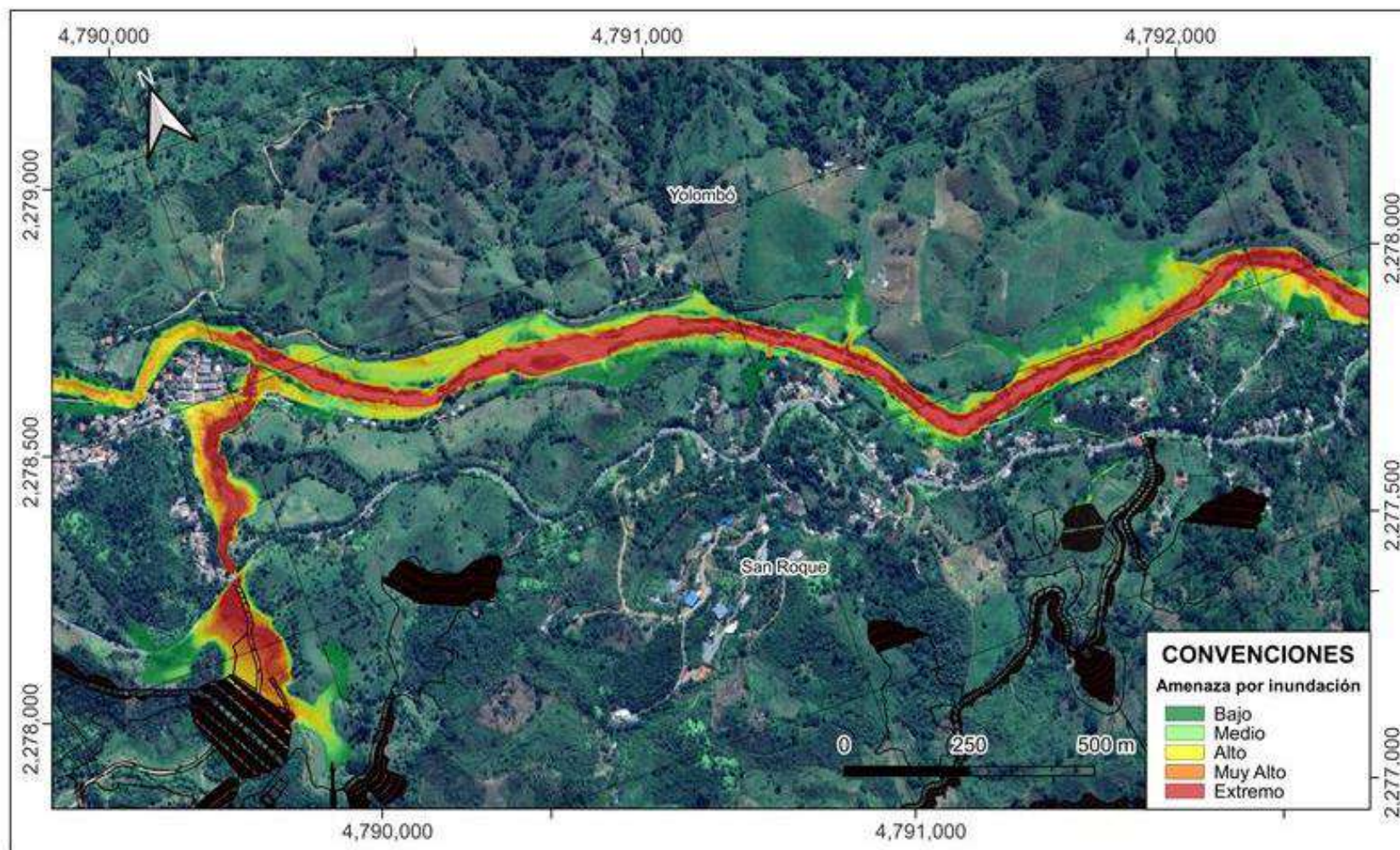


Figura 10.53 Zonificación de la amenaza por inundación ante el rompimiento de presa del sedimentador La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025

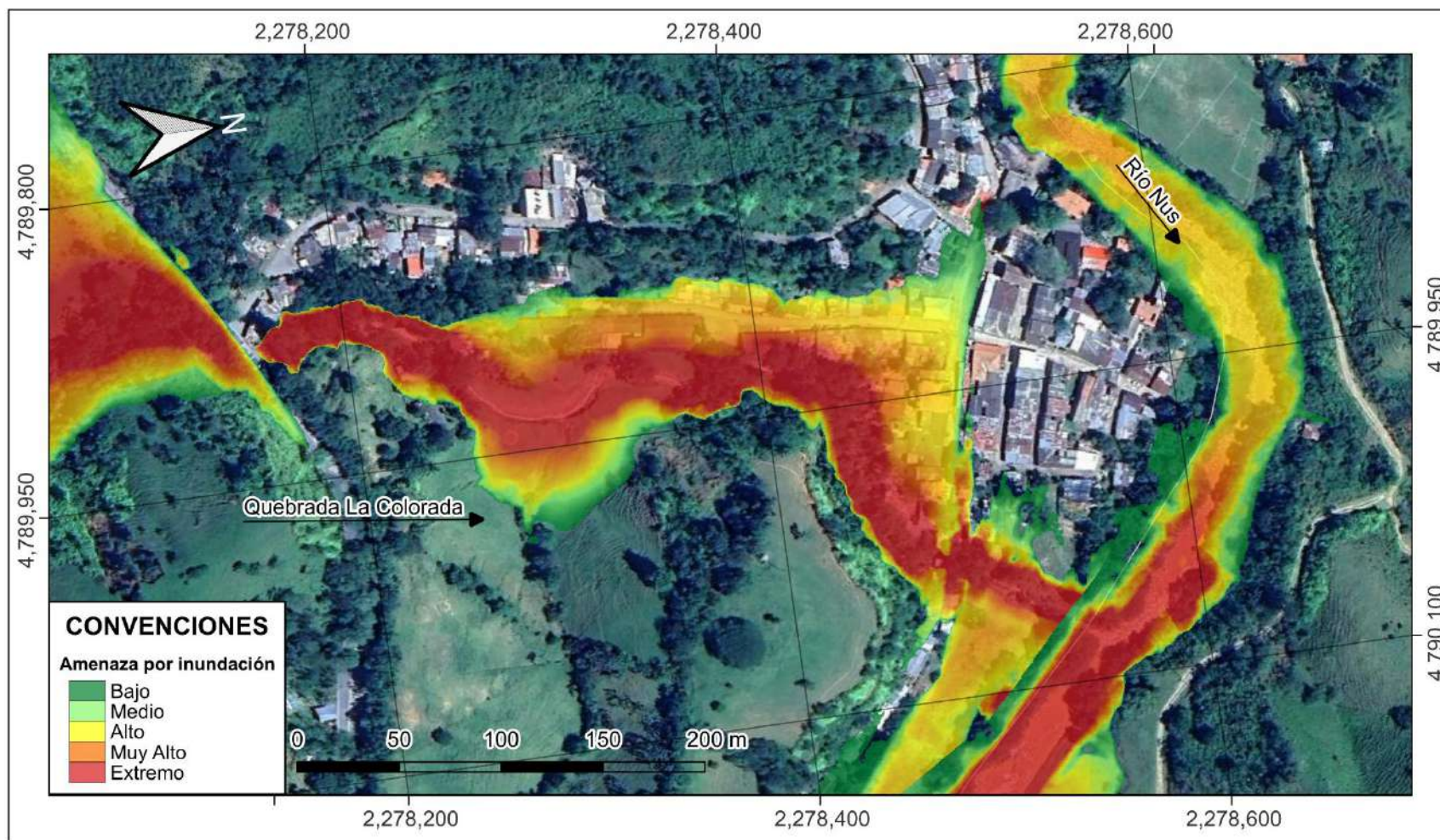


Figura 10.54 Detalle sobre la población de providencia de la zonificación de la amenaza por inundación ante el rompimiento de presa del sedimentador La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025

- Inundación de zonas de obras en la etapa de construcción (Desviación Q. Guacas)

Es importante destacar que la obra Desviación Q Guacas no hace parte del objeto de modificación de la licencia, por lo cual se conserva el análisis del escenario aprobado en el PGR_01_V1 mediante la resolución 1514 de 2015.

Entre las obras necesarias para la explotación del Tajo Gramalote se encuentra la desviación de la quebrada Guacas en su parte baja, dado que esta interfiere con el desarrollo del proceso de explotación. Dicha obra consiste en una presa de desviación, un túnel de conducción y un canal abierto que conduce el agua hacia la quebrada San Antonio, infraestructura que tendrá una vida útil de máximo 20 años. Luego de este periodo la quebrada Guacas retomará su cauce natural.

Para el diseño del modelo hidráulico se consideraron los parámetros hidrológicos del Río Nus y de algunos de los afluentes que desembocan en él. Con base a la información anterior se obtuvo el caudal medio y caudal máximo con el que se desarrolló el modelo el rompimiento de la presa para diferentes condiciones.

El amortiguamiento generado desde el sitio de la presa hasta su empalme con el río Nus es del orden del 14 %, y la hidrógrafa del evento en este punto presenta un caudal pico de 1.750 m³/s. En términos de extensión, el evento de rompimiento de la presa del desvío genera una afectación visible de hasta 5 km aguas arriba del punto de empalme de la quebrada Guacas y el río Nus, provocando un retroceso temporal de la dirección del flujo del río y un rápido desembalse de la zona, mientras que aguas abajo tiene una extensión similar a la modelada en la creciente máxima probable del río Nus, la cual si bien tiene un caudal pico inferior, es compensada por un mayor volumen y duración de la misma, haciendo ambos eventos comparables en términos hidráulicos.

Los niveles encontrados en el río Nus luego del evento hidráulico presentan incrementos nominales que varían entre 3 y 8 m con respecto al caudal medio del río, y entre 1 y 6 m respecto a la creciente natural de 2,33 años de periodo de retorno. Las velocidades promedio estimadas en el evento presentan variaciones entre 0,5 y 4 m/s. Estas condiciones son equivalentes a las estimadas para la creciente máxima probable del río Nus, la cual tiene un caudal pico aproximado de 1.200 m³/s (ver capítulo de análisis de resultados en documento denominado como: Anexo_PGR_Analisis_Rotura_Presa_DesvGuacas).

c. Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales consisten en un flujo rápido de detritos saturados que transcurre confinado a lo largo de un cauce con pendiente pronunciada. Son uno de los fenómenos más peligrosos debido a sus características de corriente súbita, alta velocidad y grandes distancias de recorrido (UNGRD, 2017). Las avenidas torrenciales son flujos formados por una mezcla de sedimentos y agua en diferentes proporciones, que se desplazan a lo largo de un cauce, generalmente a grandes velocidades. Son fenómenos originados por lluvias intensas, de corta duración y de naturaleza convectiva, que ocurren en cuencas normalmente pequeñas donde el proceso prevalente de escorrentía es superficial y donde prima las altas pendientes (Borga, Stoffel, Marchi, Marra, & Jakob, 2014).

La existencia de eventos asociados con avenidas torrenciales marca el valor de existencia de esta y describe zonas susceptibles a presentar una avenida torrencial ya que han ocurrido dentro de la cuenca. La consolidación de esta información se realiza a partir de la

revisión de fuentes secundarias y primarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de susceptibilidad por ocurrencia de eventos como complemento a las zonas de susceptibilidad por geomorfología e índices de torrencialidad para definir la zonificación definitiva de áreas susceptibles.

Cabe destacar que en el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote no se observaron eventos de avenidas torrenciales durante las visitas de campo. Además, no se encontraron registros previos que indiquen la presencia de este tipo de fenómeno, por lo cual la zona presenta una calificación muy baja respecto a este parámetro.

Con base en los valores del índice de Meltón, 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.

En la Figura 10.55 se muestra el mapa de susceptibilidad por Avenidas Torrenciales, donde se evidencia una susceptibilidad baja.

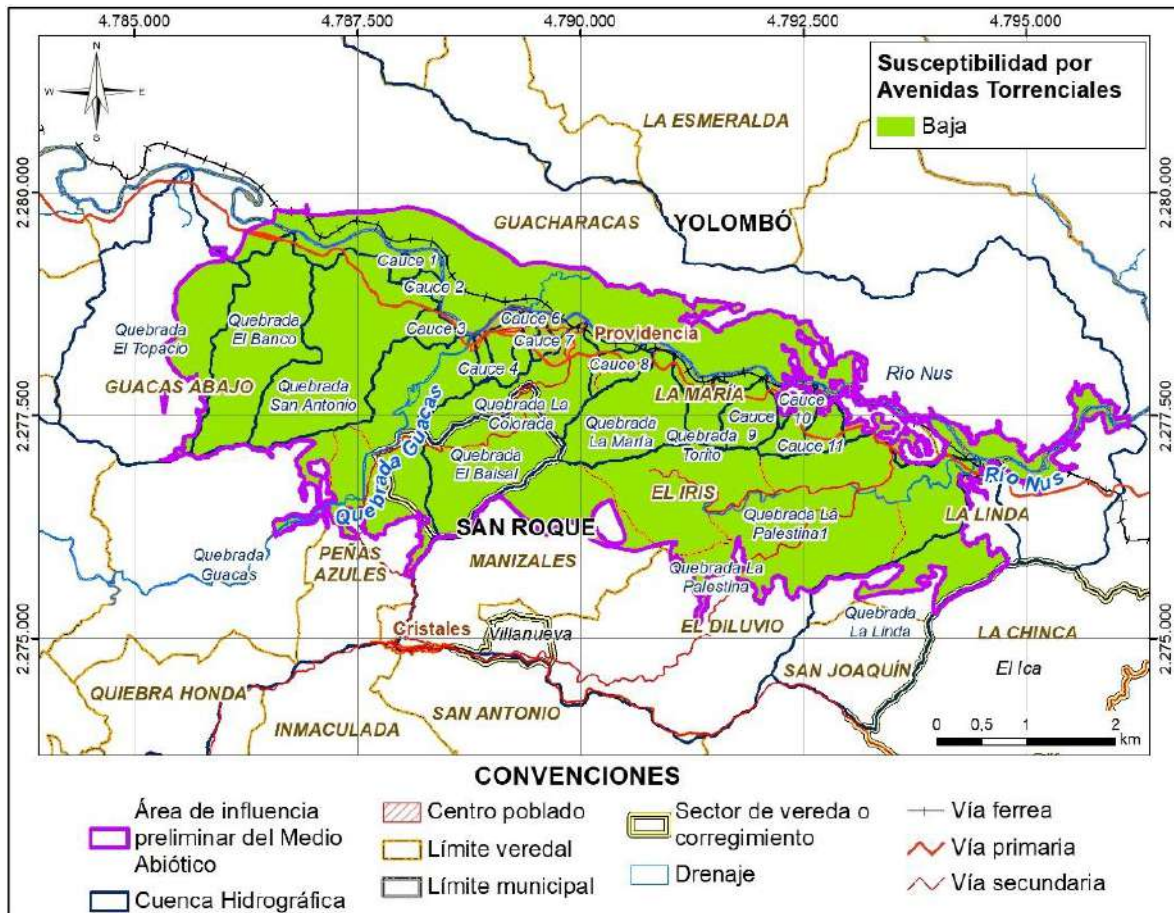


Figura 10.55 Mapa de susceptibilidad por Avenidas Torrenciales

Fuente: Integral S.A., 2025

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. En Figura 10.56 se presenta un diagrama de flujo donde se describe grosso modo los pasos a seguir para la estimación de la amenaza ante avenidas torrenciales.

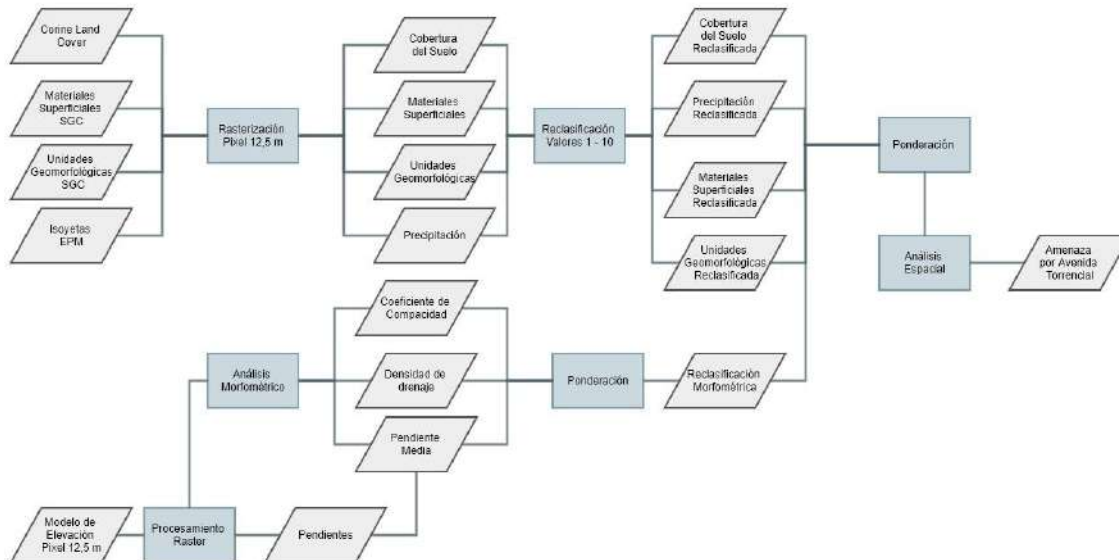


Figura 10.56 Metodología para el análisis de la amenaza por avenidas torrenciales

Fuente: Integral S.A., 2025

Con base en el proceso anteriormente ilustrado, para la construcción del mapa de amenaza fue necesario realizar una clasificación inicial y una posterior reclasificación de variables, para lo cual se utilizan los factores, índices y categorías que se exponen desde la Tabla 10.49 hasta la Tabla 10.56.

Tabla 10.49 Ponderación de factores de la clasificación morfométrica

Parámetro	Ponderación
Coeficiente de compacidad (KC)	25 %
Densidad de drenaje (DD)	25 %
Pendiente media de la cuenca (PM)	50 %

Fuente: CORNARE, 2012

Tabla 10.50 Asignación del índice de compacidad

Calificación	2	4	6	8	10
Intervalo	<1,36	1,361 - 1,467	1,468 - 1,846	1,847 - 2,39	>2,39

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.51 Reclasificación de la densidad de drenaje

Calificación	2	4	6	8	10
Intervalo	<8,4	8,4 – 14,2	14,2 – 20,0	20,0 – 25,8	>25,8

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.52 Reclasificación de pendientes medias

Valor Pendiente media (%)	Calificación
0 – 9	1
9 - 18	2
18 - 22	3
22 - 27	4
27 - 32	5
32 - 36	6
36 - 47	7
47 - 58	8
58 - 77	9
>76	10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.53 Clasificación de la cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Calificación
Bosque de galería y/o ripario - Bosque denso alto - Bosque fragmentado con pastos y cultivos - Bosque fragmentado con vegetación secundaria - Ríos (50 m) - Lagunas, Lagos y ciénagas naturales	1
Vegetación secundaria alta - Vegetación secundaria baja	2
Instalaciones recreativas - Red vial y territorios asociados - Tejido urbano continuo - Tejido urbano discontinuo - Zonas de extracción minera - Zonas industriales o comerciales- Aeropuerto	3
Mosaico de cultivos	4
-	5
Pastos arbolados - Pastos enmalezados - Pastos limpios	6
-	7
Tierras desnudas y degradadas - Zonas arenosas naturales	8
-	9
-	10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.54 Clasificación de la geomorfología

Unidad Geomorfológica local	Calificación
-	1
Explotación minera, Planos y campos de llenos antrópicos, Superficies de explanación	2
-	3

Unidad Geomorfológica local	Calificación
Cauce aluvial, Planicie aluvial confinada, Plano o Llanura de inundación	4
Escarpe de erosión mayor, Lomo denudado moderado de longitud media, lomo de falla	5
Colina residual, lomos denudados, Montículos y ondulaciones denudacionales, Ladera erosiva	6
Lomeríos poco disectados	7
Colina residual muy disectada, Lomeríos muy disectados	8
-	9
Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión, Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra, Cono de deyección	10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.55 Clasificación del material superficial

Material superficial	Calificación
-	1
Llenos Antrópicos	2
Roca poco meteorizada del Batolito Antioqueño	3
Depósitos aluviales	4
-	5
Suelo residual del Batolito Antioqueño	6
-	7
-	8
-	9
Depósitos coluviales, depósitos de flujo	10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Tabla 10.56 Clasificación de la precipitación

Valor de la precipitación (mm)	Calificación
1.939,9 – 2.163,8	1
2.163,8 – 2.387,7	2
2.387,7 – 2.611,7	3
2.611,7 - 2.835,6	4
2.835,6 - 3.059,6	5
3.059,6 - 3.283,5	6
3.283,5 - 3.507,4	7
3.507,4 - 3.731,4	8
3.731,4 - 3.955,3	9
3.955,3 - 4.179,3	10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Es de aclarar siguiendo la guía metodológica de CORNARE, los mapas temáticos que son obtenidos se ponderan finalmente con los factores que son presentados en la Tabla 10.57. Así mismo, se realiza la categorización de la amenaza por avenidas torrenciales haciendo uso de los rangos que son presentados en la Tabla 10.58.

Tabla 10.57 Ponderación de factores de susceptibilidad por avenidas torrenciales

Factor	Peso factor (%)
Clasificación morfométrica	30
Geomorfología (unidades geomorfológicas)	20
Precipitación	20
Materiales superficiales	15
Cobertura vegetal	15

Fuente: CORNARE, 2012

Tabla 10.58 Asignación del índice de amenaza por avenida torrencial

Calificación	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Intervalo	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10

Fuente: Modificado CORNARE (2012)

Los resultados obtenidos para la clasificación de la amenaza ante eventos de torrencialidad sobre el área de influencia se presentan en la Figura 10.57. De forma general, después de realizar los respectivos estimativos, se concluye que las zonas que pueden ser más propensas ante este tipo de fenómenos son los depósitos aluviales, coluviales y de flujo, las cuales están asociados principalmente a los cauces. Así mismo, se puede inferir que gran porcentaje del área de influencia se encuentra clasificado en un rango de amenaza que oscila entre medio y bajo.

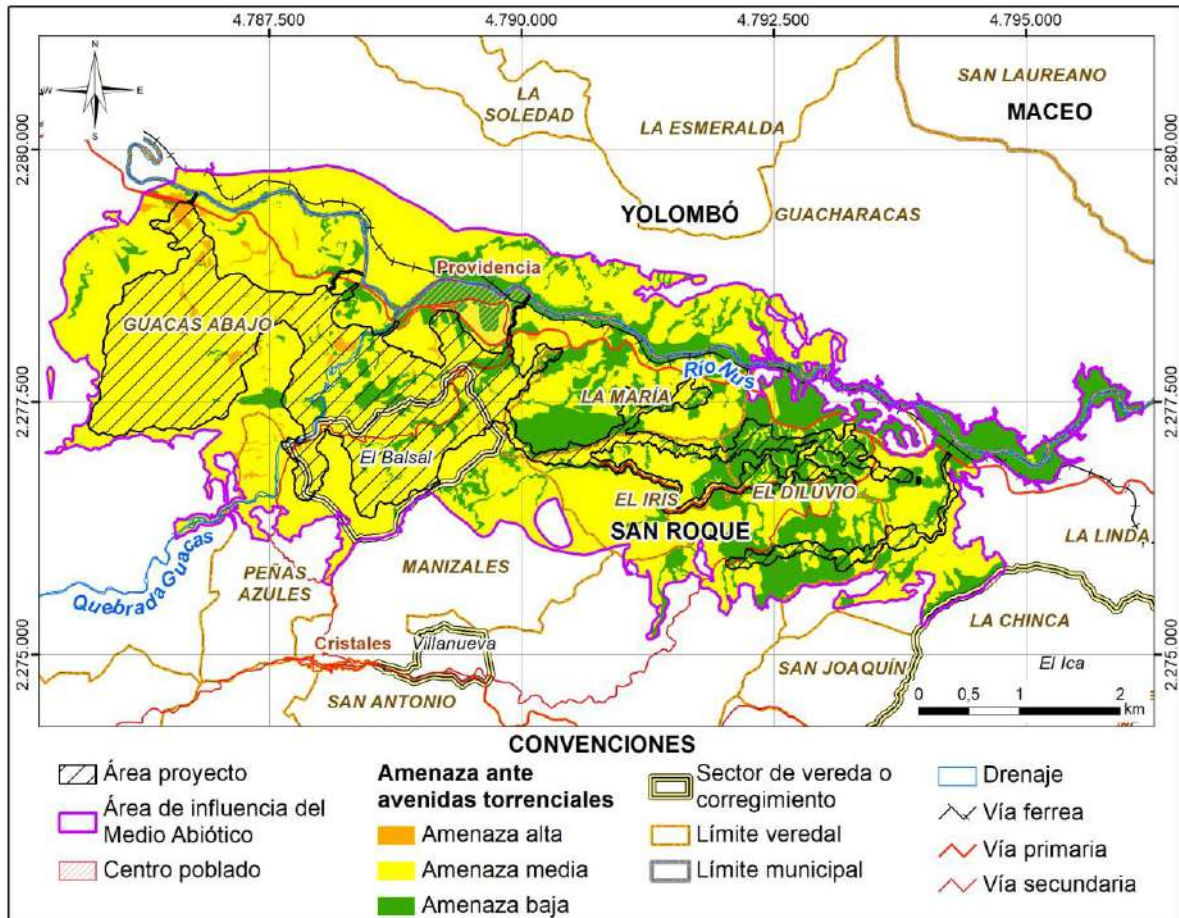


Figura 10.57 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales en la zona de estudio

Fuente: Integral S.A., 2025

- I. **Escenarios de riesgo asociados a la amenaza ante avenidas torrenciales**
- i. **Daños en las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial**

La metodología aplicada permitió realizar una ponderación de cinco mapas. El primero asociado a la morfometría de la zona, donde se ven involucrados el coeficiente de compacidad (factor de forma de una cuenca), la densidad de drenaje y las pendientes medias de la zona. El segundo mapa está asociado a la precipitación media total multianual de la zona. El tercer mapa corresponde a las coberturas vegetales, en el cual se observa que zonas pueden ser más propensas a un evento de movimiento en masa. El cuarto mapa hace referencia a las unidades geológicas o materiales superficiales de la zona, este al igual que el anterior analiza que zonas pueden ser más propensas a un evento de movimiento en masa. El quinto corresponde al mapa de unidades geomorfológicas o

también llamado relieve regional, ya que como se mencionó a lo largo del informe, este fenómeno está asociada a las zonas montañosas.

De la ponderación de los mapas se puede ver que el riesgo de una avenida torrencial es la combinación de zonas de altas pendientes con una geología superficial erosionable, y altas precipitaciones, por lo cual, las avenidas torrenciales de tal magnitud que alcancen la infraestructura del proyecto, llegando a generar daños en las instalaciones e incluso durante la etapa operación del proyecto, se consideran poco probables, dado que a pesar de que la parte alta de las cuencas donde las pendientes son altas pueden estar amenazadas por avenidas torrenciales las infraestructuras fueron diseñadas para resistir el paso de estos flujos.

d. Incendios forestales

Los Incendios forestales pueden ser considerados como perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos, graves o destructivos, producidos por fuego de origen natural o antrópico, cuya dinámica responde fundamentalmente a la concurrencia simultánea de tres o más condiciones en un mismo sitio (tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otras) los cuales se desarrollan sin control ni límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal (nativa, cultivada o inducida), utilizando como fuente de combustible la vegetación viva o muerta y, por el riesgo que representa para los sistemas naturales o sociales, deben prevenirse y extinguirse (Pascual, Toro, Alonso, Rivas, & Rocha, 2011).

Son amenazas recurrentes en entornos naturales, cuyo origen generalmente es producto de acciones antrópicas. Estos, además de poner en riesgo a las personas y causar grandes impactos económicos, pueden afectar gravemente la biodiversidad de una zona; generar erosión de suelos, severos procesos de desertificación, merma de recursos hídricos, colmatación de embalses e inundaciones, entre otros. Para la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales – CDPMIF un incendio forestal se define como: “Un fenómeno natural o inducido, que se produce cuando un cuerpo combustible recibe calor en presencia de aire, si el fuego se propaga sin control (sin límites preestablecidos) consumiendo material vegetal ubicado en áreas rurales de aptitud forestal o, en aquellas que, sin serlo, cumplen una función ambiental y cuyo tamaño es superior a 0.5 hectáreas, hablamos de incendio forestal” (CDPMIF, 2019)

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.

A continuación, en la Figura 10.58, se presenta la relación de cada uno de los factores descritos anteriormente y su relación para la obtención de la amenaza del área de influencia abiótica.



Figura 10.58 Esquema metodológico para la determinación de la susceptibilidad de incendios forestales

Fuente: Integral S.A., 2025

Es fundamental destacar que el marco metodológico conceptual empleado se basa en un análisis integrado de variables tanto cuantitativas como cualitativas que afectan la propagación de incendios forestales, lo que convierte esta metodología en un enfoque de tipo heurístico.

A partir de la definición del área mínima cartografiable y utilizando los insumos y evaluando cada una de las variables acorde con el detalle que esta escala permite. Cada variable se asigna un valor ponderado de acuerdo con el grado de incidencia que pueda poseer según la escala utilizada. Se aclara que, aunque en la metodología se recomienda una ponderación específica, estos valores se ajustan de acuerdo con la experiencia y el conocimiento del equipo de trabajo en el área de influencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, por dichas razones en algunos casos las delimitaciones de coberturas, pendientes y otras capas empleadas en dicho análisis no corresponderán de manera exacta con los límites definidos en la información primaria dadas, las excepciones cartográficas y de escala mencionadas con anterioridad. Utilizando herramientas modelamiento espacial del software ArcGIS, se realizan las diferentes operaciones que permiten obtener la zonificación de amenaza por incendios de cobertura vegetal, desarrollada como se expresa a continuación:

- Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios

La evaluación de la susceptibilidad y el peligro de incendios forestales en el área de influencia del proyecto se fundamenta en las características de las unidades de cobertura vegetal presentes, las cuales determinan la propensión de estas a incendiarse y la magnitud de los posibles daños. Este análisis se realiza considerando factores externos, ya sean naturales o antrópicos, que pueden iniciar o favorecer la propagación del fuego.

La clasificación de la susceptibilidad de la vegetación se basa en el análisis de las características pirogénicas de los combustibles presentes, empleando el modelo de combustibles desarrollado por Páramo (2007). Este modelo permite identificar y calificar los factores clave que influyen en la capacidad de la vegetación para iniciar, propagar y mantener el fuego. Entre los principales factores se destacan: el tipo de combustible predominante en cada cobertura vegetal, el tiempo que los combustibles permanecen encendidos (duración del combustible) y la cantidad de biomasa disponible para ser consumida por el fuego (carga total del combustible).

El procedimiento empleado para determinar la susceptibilidad de la vegetación a los incendios forestales incluye varios pasos. Primero, se identifican las coberturas vegetales y sus características pirogénicas, clasificando los materiales combustibles presentes en cada unidad de cobertura. Posteriormente, se califican los factores de susceptibilidad asignando valores ponderados según su importancia en la propagación y sostenibilidad del fuego. Estos datos son integrados mediante herramientas de análisis espacial para generar mapas temáticos que reflejan los niveles de susceptibilidad y su distribución geográfica. Finalmente, a través del modelamiento y la zonificación, se obtienen mapas que permiten identificar las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas por incendios forestales.

- Generación del mapa de tipo de combustible

La susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales está estrechamente vinculada con el tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema, considerando el tipo de cobertura vegetal y el biotipo dominante. Esto abarca la vegetación disponible para

arder, que depende de varios factores. Entre ellos, destaca la cantidad total de biomasa distribuida en los tres estratos vegetales básicos (herbáceo, arbustivo y arbóreo), así como la humedad de la vegetación, que está directamente relacionada con la humedad ambiental. Además, la inflamabilidad y combustibilidad de la vegetación, variables que determinan la facilidad con la que esta puede encenderse y arder, varían según las especies presentes en cada ecosistema.

Para la evaluación, se parte del análisis de un mapa de cobertura vegetal, mediante el cual se realiza una reclasificación interpretando los tipos de cobertura según los combustibles dominantes. Cada tipo de cobertura recibe un valor de calificación que refleja su susceptibilidad, basado en los criterios establecidos en las Tabla 10.59 y Tabla 10.60. Este proceso permite ajustar el análisis a casos específicos y constituye un elemento fundamental dentro del protocolo metodológico.

Tabla 10.59 Tipo de combustible predominante según la cobertura

Tipo de cobertura (Corine Land Cover nivel 3)	Tipo de combustible predominante
2.3.1 Pastos limpios	Pastos
2.3.3 Pastos enmalezados	Pastos/hierbas
2.4.1. Mosaico de cultivos	Hierbas
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas/arbustos/árboles
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas/arbustos/árboles
3.1.1. Bosque denso	Árboles
3.1.2. Bosque abierto	Arboles/arbustos
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles/arbustos/hierbas
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Árboles/arbustos
3.2.1. Herbazal	Hierbas
3.2.2. Arbustal	Arbustos
3.3.2. Afloramientos rocosos	No combustibles
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles
4.1.1. Zonas pantanosas	Hierbas
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles

Fuente: IDEAM, 2015

Tabla 10.60 Categoría de amenaza por tipo de combustible

Tipo de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustible	Sin riesgo	0
Árboles	Muy baja	1
Árboles/arbustos	Baja	2
Arbustos	Moderada	3
Arbustos/Hierbas – árboles/hierbas – pastos/hierbas/arbustos/árboles	Moderada	3
Hierbas/ cultivos herbáceos	Alta	4
Hierbas – Pastos	Muy alta	5
Pastos – zonas verdes urbanas	Muy alta	5
Sin información	Sin información	6

Fuente: IDEAM, 2015

A partir de la Tabla 10.60 se seleccionó la cobertura para la generación del mapa de tipo de combustible presente en el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote el cual se muestra a continuación en la Tabla 10.61.

Tabla 10.61 Tipo de combustible predominante según la cobertura en el AI abiótica

Cobertura	Tipo de combustible predominante
1.2.4 Aeropuerto	No combustibles
3.1.4 Bosque de galería y/o ripario	Árboles/arbustos
3.1.1 Bosque denso alto	Árboles
3.1.3 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Árboles/arbustos/hierbas
2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos - Caña	Hierbas
3.1.4.1 Guadua	Árboles/arbustos
1.4.2 Instalaciones recreativa	Pastos
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.1 Mosaico de cultivos	Hierbas
2.3.2 Pastos arbolados	Árboles/arbustos/hierbas
2.3.3 Pastos enmalezados	Pastos/hierbas
2.3.1 Pastos limpios	Pastos
1.2.2 Red vial y territorios asociados	No combustibles
5.1.1 Ríos	No combustibles
1.1.1 Tejido urbano continuo	No combustibles
1.1.2 Tejido urbano discontinuo	No combustibles
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	No combustibles
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	Arboles/arbustos
3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	Arboles/arbustos
3.3.1 Zonas arenosas naturales	No combustibles
1.3.1 Zonas de extracción minera	No combustibles
2.1.1 Zonas industriales o comerciales	No combustibles

Fuente: Integral S.A., 2026 A partir de IDEAM, 2015

Luego se generó una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, según los tipos de combustibles dominantes, generándose para cada de ellos un valor de calificación de acuerdo con lo expresado en la Tabla 10.61 y que se evidencia en la Tabla 10.62. En la Figura 10.59, se puede evidenciar la distribución espacial de las categorías de amenaza por tipo de combustibles.

Tabla 10.62 Categoría de amenaza por tipo de combustible según la cobertura en el AI abiótica

Tipo de combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustible	Sin riesgo	0
Zonas verdes urbanas	Muy alta	5
Pastos	Muy alta	5
Pastos/hierbas	Moderada	3
Árboles	Muy Baja	1
Hierbas	Alta	4
Árboles/arbustos	Baja	2
Árboles/arbustos/hierbas	Moderada	3

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de IDEAM, 2015

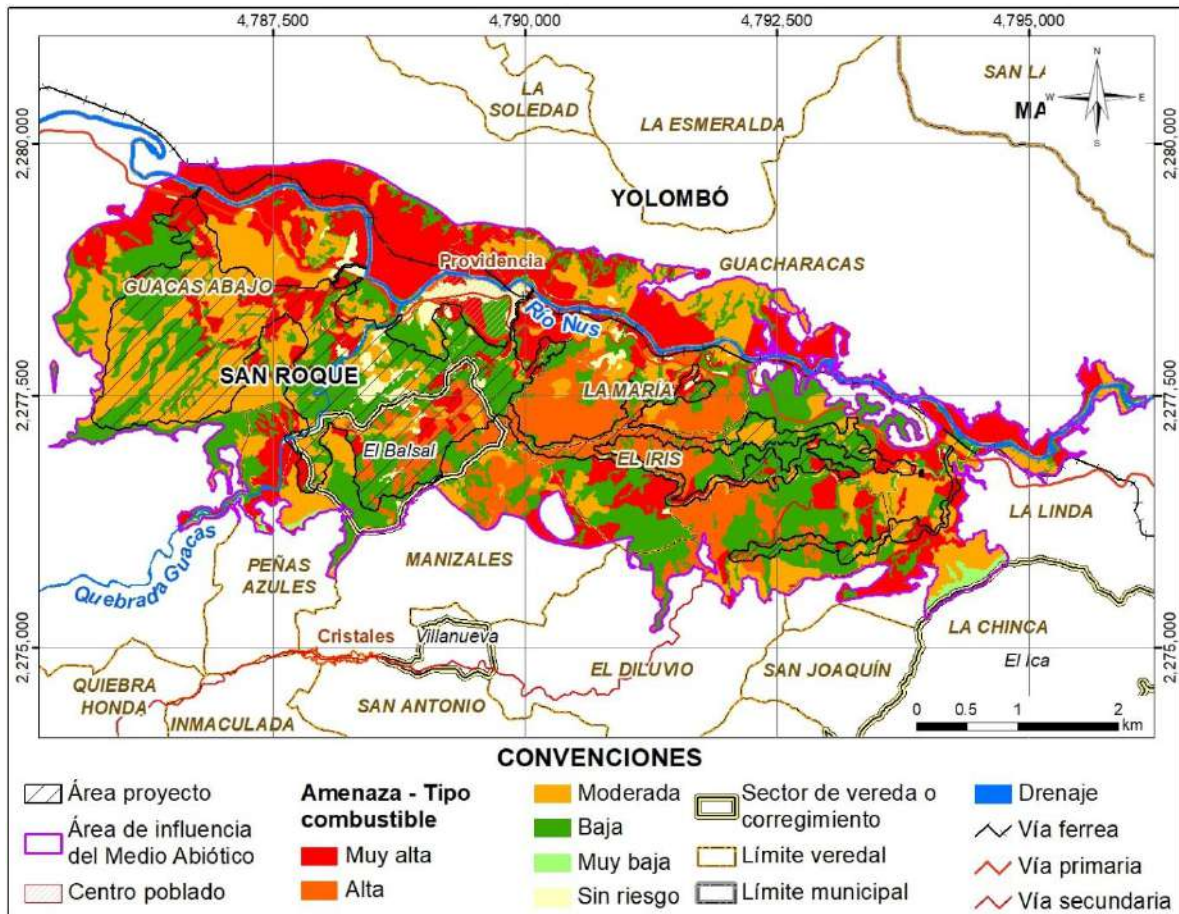


Figura 10.59 Amenaza según tipo de combustible en el área de influencia abiótica

Fuente: Integral S.A., 2026

- Generación del mapa de duración de combustible

Esta variable se obtiene a partir de la duración en horas de ignición para cada tipo de combustible dominante. La duración del combustible se refiere al tiempo necesario para que el contenido de humedad de un combustible se equilibre con la humedad del aire que lo rodea y pueda mantener su ignición, en este sentido se pueden catalogar como combustibles de una hora, diez horas y cien horas.

A partir del mapa de cobertura vegetal, es posible generar una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, asignando de acuerdo con las coberturas predominantes una calificación según la duración de los combustibles, como se muestra en las Tabla 10.63 y Tabla 10.64, aplicables al estudio de caso que ejemplifica el protocolo.

Tabla 10.63 Duración del combustible según la cobertura vegetal

Tipo de cobertura (Corine Land Cover nivel 3)	Duración del combustible predominante
3.3.2 Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1 Bosque denso	10 horas
3.1.3 Bosque fragmentado	100 horas

Tipo de cobertura (Corine Land Cover nivel 3)	Duración del combustible predominante
3.1.4 Bosque de galería y ripario	100 horas
3.1.1 Bosque Denso	100 horas
3.1.3 Bosque fragmentado	100 horas
3.2.2 Arbustal	100 horas
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 hora
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	1 hora
2.4.1 Mosaico de cultivos	10 horas
2.3.3 Pastos enmalezados	1 hora
2.3.1 Pastos limpios	1 hora
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
3.2.1 Herbazal	10 horas
3.3.5 Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: IDEAM, 2015

Tabla 10.64 Categoría de amenaza por la duración de combustible

Duración de los combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Sin riesgo	0
1 hora	Baja	1
10 horas	Moderada	2
100 horas (Predominio de arbustos y hierbas)	Alta	3
Sin información	Sin información	6

Fuente: IDEAM, 2015

A partir de la Tabla 10.63 se seleccionó la cobertura para la generación del mapa de tipo de combustible presente en el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote el cual se muestra a continuación en la Tabla 10.65.

Tabla 10.65 Duración del combustible según la cobertura vegetal en el área de influencia abiótica

Cobertura	Duración del combustible predominante
1.2.4 Aeropuerto	No combustibles
3.1.4 Bosque de galería y/o ripario	100 horas
3.1.1 Bosque denso alto	100 horas
3.1.3 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	100 horas
2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos - Caña	10 horas
3.1.4.1 Guadua	100 horas
1.4.2 Instalaciones recreativa	1 hora
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.1 Mosaico de cultivos	10 horas
2.3.2 Pastos arbolados	1 hora
2.3.3 Pastos enmalezados	1 hora
2.3.1 Pastos limpios	1 hora

Cobertura	Duración del combustible predominante
1.2.2 Red vial y territorios asociados	No combustibles
5.1.1 Ríos	No combustibles
1.1.1 Tejido urbano continuo	No combustibles
1.1.2 Tejido urbano discontinuo	No combustibles
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	No combustibles
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	10 horas
3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	10 horas
3.3.1 Zonas arenosas naturales	No combustibles
1.3.1 Zonas de extracción minera	No combustibles
2.1.1 Zonas industriales o comerciales	No combustibles

Fuente: Integral S.A., 2026 A partir de IDEAM, 2015

Luego se generó una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, según los tipos de combustibles dominantes, generándose para cada de ellos un valor de calificación de acuerdo con lo expresado en la Tabla 10.64 y que se evidencia en la Tabla 10.66. En la Figura 10.60, se puede evidenciar la distribución espacial de las categorías de amenaza por tipo de duración combustibles.

Tabla 10.66 Categoría de amenaza por la duración de combustible en el AI abiótica

Duración de los combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Sin riesgo	0
1 hora (Predominio de pastos)	Baja	1
10 horas	Moderada	2
100 horas (Predominio de árboles)	Alta	3

Fuente: Integral S.A., 2025 A partir de IDEAM, 2015

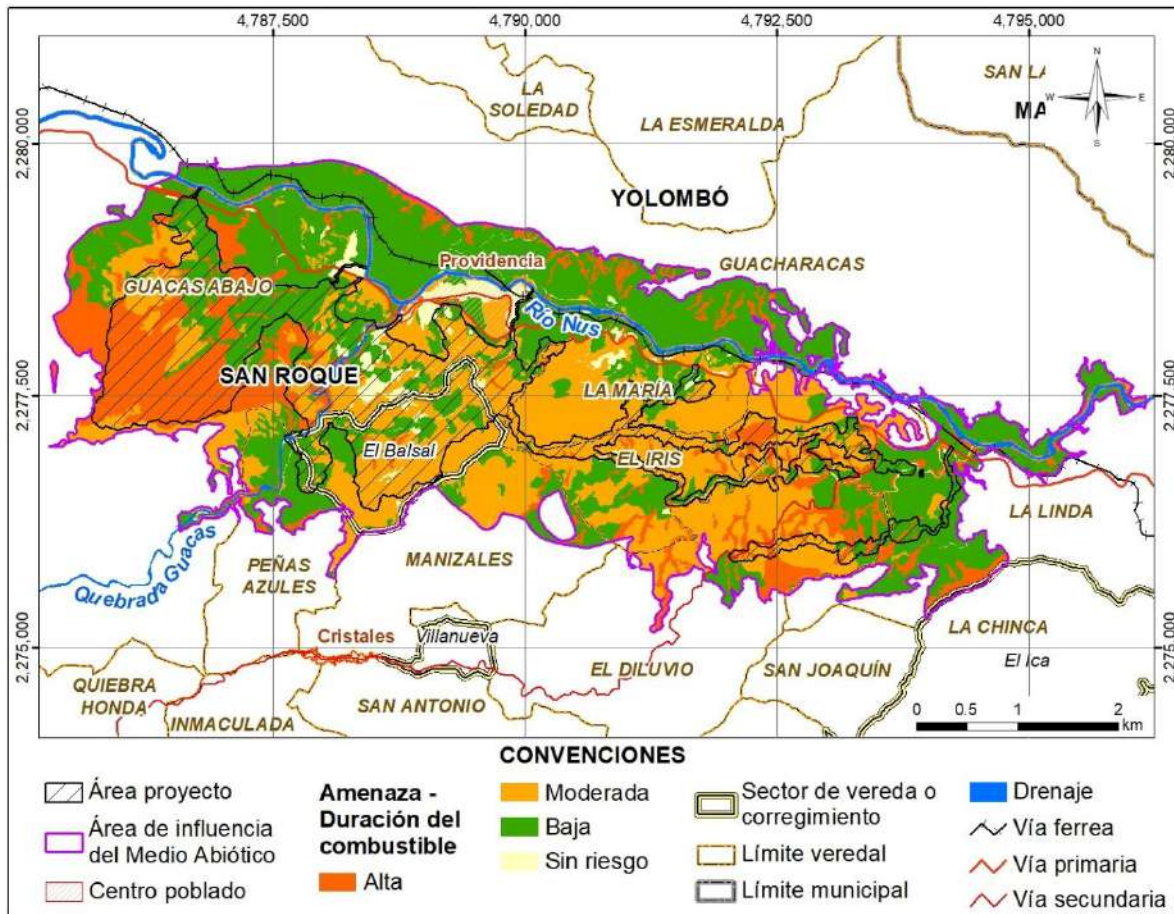


Figura 10.60 Amenaza según la duración del combustible en el área de influencia abiótica

Fuente: Integral S.A., 2026

- Generación del mapa de tipo de carga de combustible

Se define como la 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.

A partir del mapa de cobertura vegetal y de la información específica que se tiene sobre la biomasa de los diferentes tipos de cobertura (expresada en toneladas por hectárea) se pudo generar una reclasificación de los tipos de cobertura, asignando de acuerdo con las coberturas predominantes y a su contenido de biomasa (carga de combustibles) una calificación de acuerdo con la Tabla 10.67 y la Tabla 10.68 aplicables al estudio de caso que ejemplifica el protocolo.

Tabla 10.67 Categoría total (Biomasa) de combustible

Tipo de cobertura (Corine Land Cover nivel 3)	Carga total (biomasas) de combustibles
3.3.2 Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1 Bosque denso	Más 100 ton/ha

Tipo de cobertura (Corine Land Cover nivel 3)	Carga total (biomasas) de combustibles
3.1.3 Bosque fragmentado	Más 100 ton/ha
3.1.4 Bosque de galería y ripario	Más 100 ton/ha
3.2.2 Arbustal	50 - 100 ton/ha
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	50 - 100 ton/ha
2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	50 - 100 ton/ha
2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)
2.4.1 Mosaico de cultivos	1-50 ton/ha
2.3.3 Pastos enmalezados	1-50 ton/ha
2.3.1 Pastos limpios	1-50 ton/ha
3.2.1 Herbazal	1-50 ton/ha
3.3.5 Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: IDEAM, 2015

Tabla 10.68 Categoría de amenaza total (Biomasa) de combustible

Duración de los combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Sin riesgo	0
Áreas urbanas (menos de 1 Ton/Ha)	Baja	1
1-50 Ton/Ha	Moderada	2
50 a 100 Ton/Ha	Alta	3
Más de 100 Ton/Ha	Muy alta	4
Sin información	Sin información	6

Fuente: IDEAM, 2015

A partir de la Tabla 10.67 se seleccionó la cobertura para la generación del mapa de tipo de combustible presente en el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, y el cual se muestra a continuación en la Tabla 10.69.

Tabla 10.69 Categoría total (Biomasa) de combustible para el área de influencia abiótica

Cobertura	Carga total (biomasas) de combustibles
1.2.4 Aeropuerto	No combustibles
3.1.4 Bosque de galería y/o ripario	>100 ton/ha
3.1.1 Bosque denso alto	>100 ton/ha
3.1.3 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	>100 ton/ha
2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos - Caña	1-50 ton/ha
3.1.4.1 Guadua	>100 ton/ha
1.4.2 Instalaciones recreativa	1-50 ton/ha
5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.1 Mosaico de cultivos	1-50 ton/ha
2.3.2 Pastos arbolados	1-50 ton/ha
2.3.3 Pastos enmalezados	1-50 ton/ha
2.3.1 Pastos limpios	1-50 ton/ha
1.2.2 Red vial y territorios asociados	No combustibles
5.1.1 Ríos	No combustibles

Cobertura	Carga total (biomasas) de combustibles
1.1.1 Tejido urbano continuo	No combustibles
1.1.2 Tejido urbano discontinuo	No combustibles
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	No combustibles
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	50-100 ton/ha
3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	50-100 ton/ha
3.3.1 Zonas arenosas naturales	No combustibles
1.3.1 Zonas de extracción minera	No combustibles
2.1.1 Zonas industriales o comerciales	No combustibles

Fuente: Integral S.A., 2026 A partir de IDEAM, 2015

Luego se generó una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, según los tipos de combustibles dominantes, generándose para cada de ellos un valor de calificación de acuerdo con lo expresado en la Tabla 10.68 y que se evidencia en la Tabla 10.70. En la Figura 10.61 se puede evidenciar la distribución espacial de las categorías de amenaza por tipo de combustibles.

Tabla 10.70 Categoría de amenaza total (Biomasa) de combustible para el área influencia abiótica

Duración de los combustibles	Categoría de amenaza	Calificación
No combustibles	Sin riesgo	0
Áreas urbanas (menos de 1 Ton/Ha)	Baja	1
1-50 Ton/Ha	Moderada	2
50-100 ton/ha	Alta	3
Más de 100 Ton/Ha	Muy alta	4

Fuente: Integral S.A., 2025 A partir de IDEAM, 2015

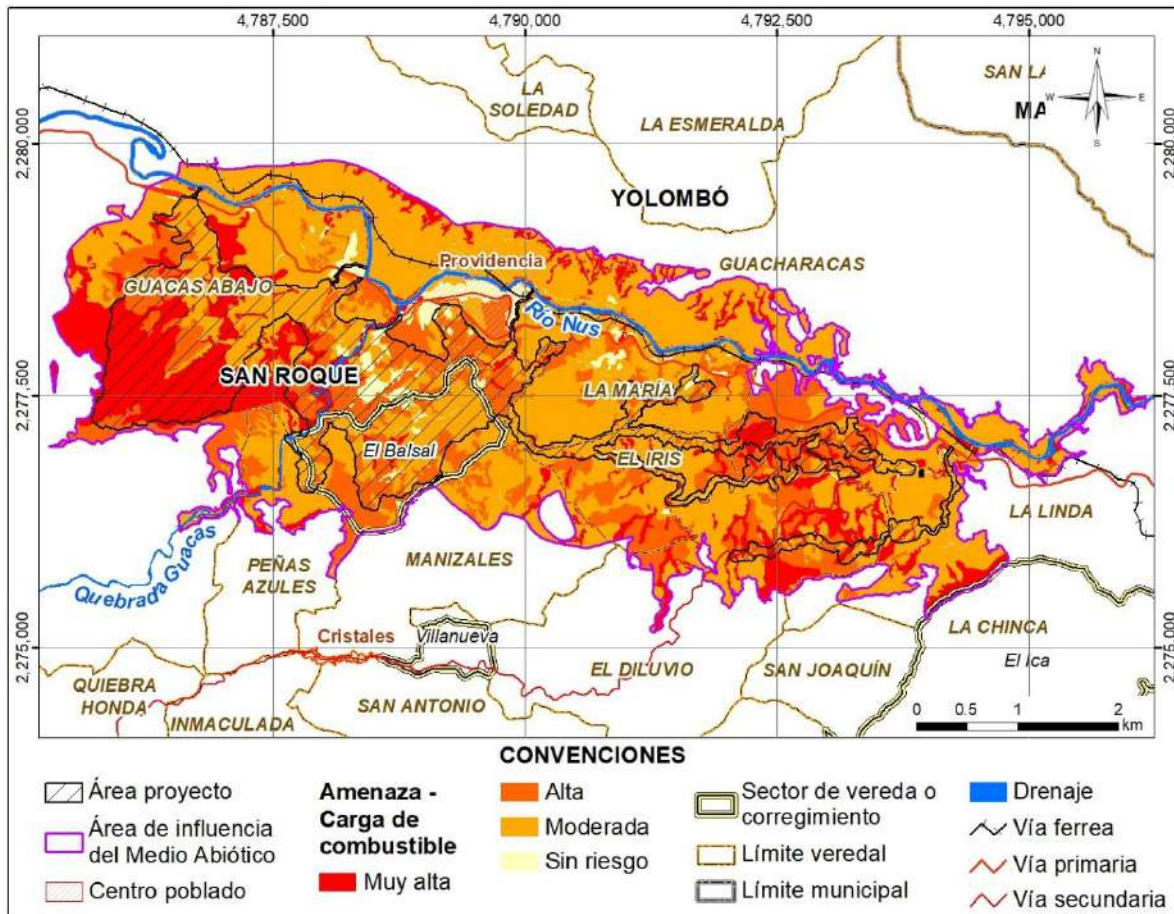


Figura 10.61 Amenaza según la carga (Biomasa) de combustible en el AI abiótica

Fuente: Integral S.A., 2026.

- Generación del mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios

Una vez asignadas las respectivas calificaciones y generados los mapas de tipo, duración y carga de combustibles, se procede a la realización del producto entre cada uno de ellos (álgebra de mapas); el resultado obtenido se agrupa posteriormente en 5 categorías como lo presenta la Tabla 10.71 mediante una distribución de frecuencias y a cada grupo se le asignó una calificación que varía entre susceptibilidad muy baja (rango menor) a susceptibilidad muy alta (rango mayor), mediante la siguiente ecuación:

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct)$$

Donde:

SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL (tc): Calificación por tipo de combustible

CAL (dc): Calificación de la duración de los combustibles

CAL (ct): Calificación de la carga total de combustibles

Tabla 10.71 Clasificación y categorización de la susceptibilidad

Calificación de susceptibilidad	Calificación	Rangos
Sin riesgo	0	0
Baja	1	0-6
Moderada	2	6-7
Alta	3	7-8
Muy alta	4	>8

Fuente: IDEAM, 2015

El cálculo de susceptibilidad de las coberturas vegetales generado por medio de la ecuación y calificación anterior exhibe la representación espacial asociada en la Figura 10.62.

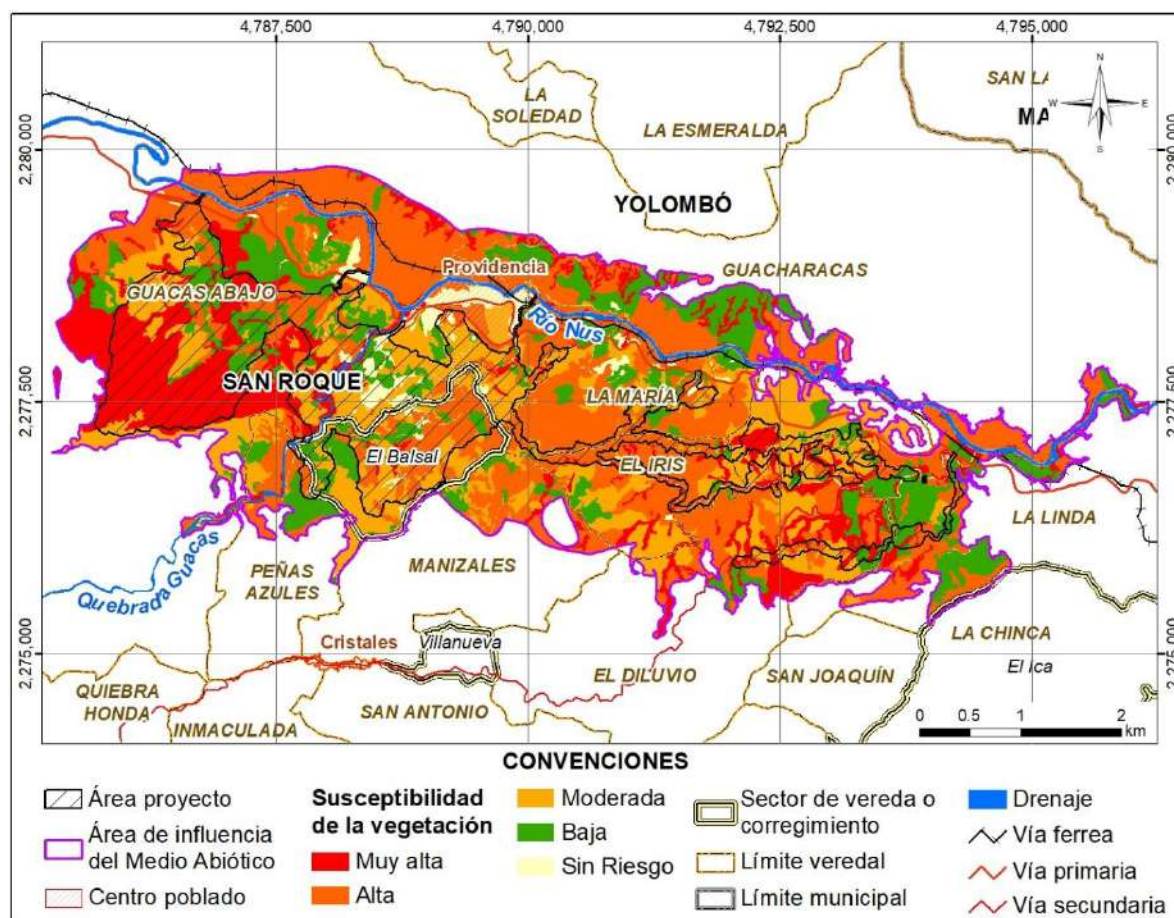


Figura 10.62 Mapa de susceptibilidad de la vegetación de incendios

Fuente: Integral S.A., 2026

Teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia a la humedad contenida en los tejidos vegetales (influida directamente por la precipitación, humedad del suelo y temperatura ambiental), se considera necesario generar una calificación de la

susceptibilidad bajo las condiciones normales de precipitación y temperatura imperantes en el país.

- Incorporación de variables climáticas como factores fundamentales de la amenaza

La temperatura puede definirse como el nivel de calor presente en el aire en un sitio y momento determinado, así mismo la precipitación es una variable determinante en la evaluación de amenazas por incendios, debido a que la cantidad de precipitación y su distribución temporal crean condiciones que pueden aumentar o disminuir al desarrollo de estos. Los períodos prolongados de sequía crean condiciones adecuadas para el desarrollo de incendios de gran severidad al aumentar la disponibilidad de los combustibles. Períodos con abundante precipitación antes de la temporada de fuego pueden producir una gran cantidad de combustible que con el avance de la temporada estará disponible para quemarse. La cantidad y distribución de la precipitación también afecta la cantidad de agua disponible en el suelo para ser utilizada por la vegetación.

Para la incorporación de las variables climáticas, se efectúa un procedimiento similar al de la calificación de la susceptibilidad, para generar los mapas de las variables climáticas a partir de la información de precipitación (Ver Tabla 10.72) y temperatura (Ver Tabla 10.73) tomando como datos base, la información recopilada en los capítulos de caracterización del medio abiótico, a ser empleados para la determinación de incendios y con los cuales se caracterizan climáticamente los ecosistemas colombianos en relación a las categorías de amenaza y los cuales son representados en las Figura 10.63 y Figura 10.64.

Tabla 10.72 Categorización de amenaza según el rango de precipitación anual

Precipitación media anual (mm)	Categoría de amenaza	Calificación
Pluvial (>7000)	Muy baja	1
Muy húmedo (3000-7000)	Baja	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy seco (500-1000)	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2015

Tabla 10.73 Categorización de amenaza según el rango de temperatura anual

Temperatura media anual (°C)	Categoría de amenaza	Calificación
<6°	Muy baja	1
6° - 12°	Baja	2
12° - 18°	Moderada	3
18° - 24°	Alta	4
>24°	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2015

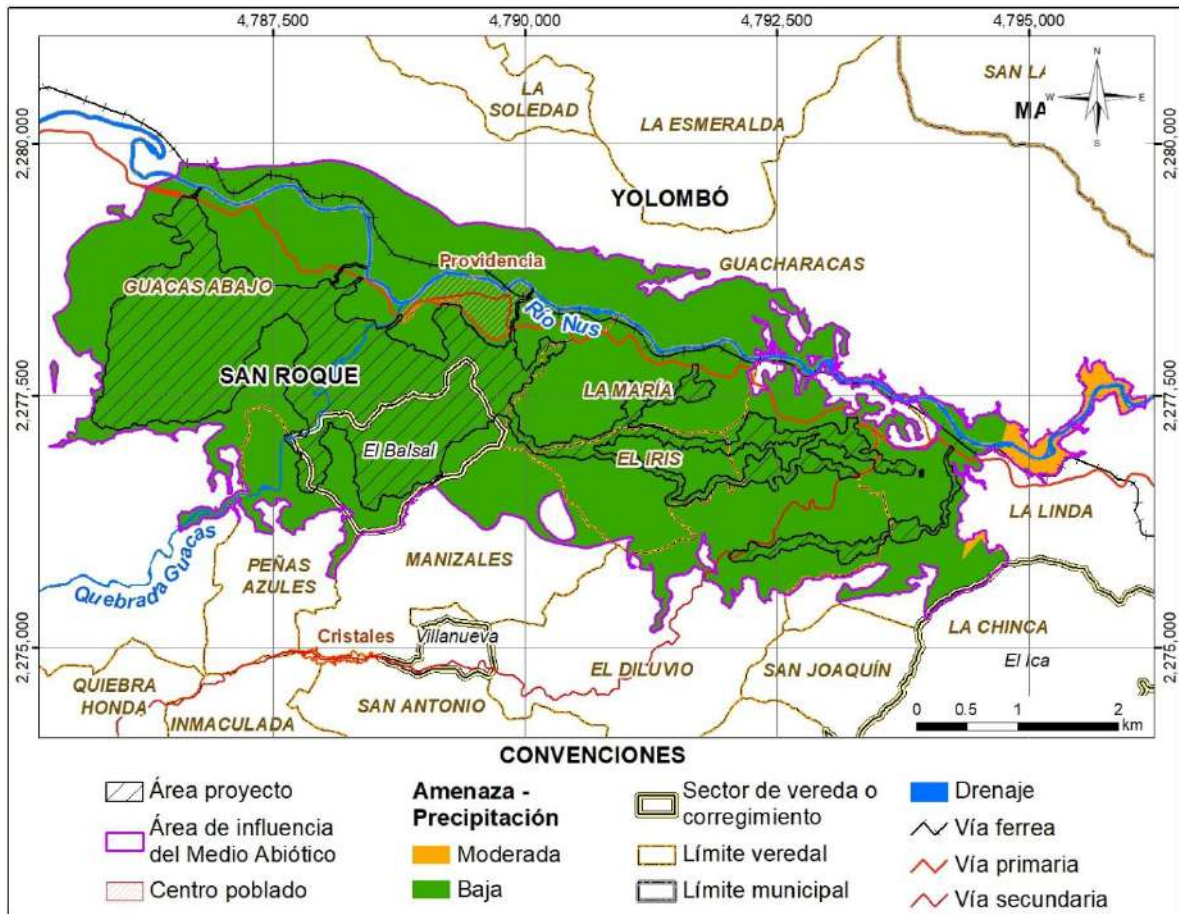


Figura 10.63 Amenaza según el rango de precipitación anual

Fuente: Integral S.A., 2026

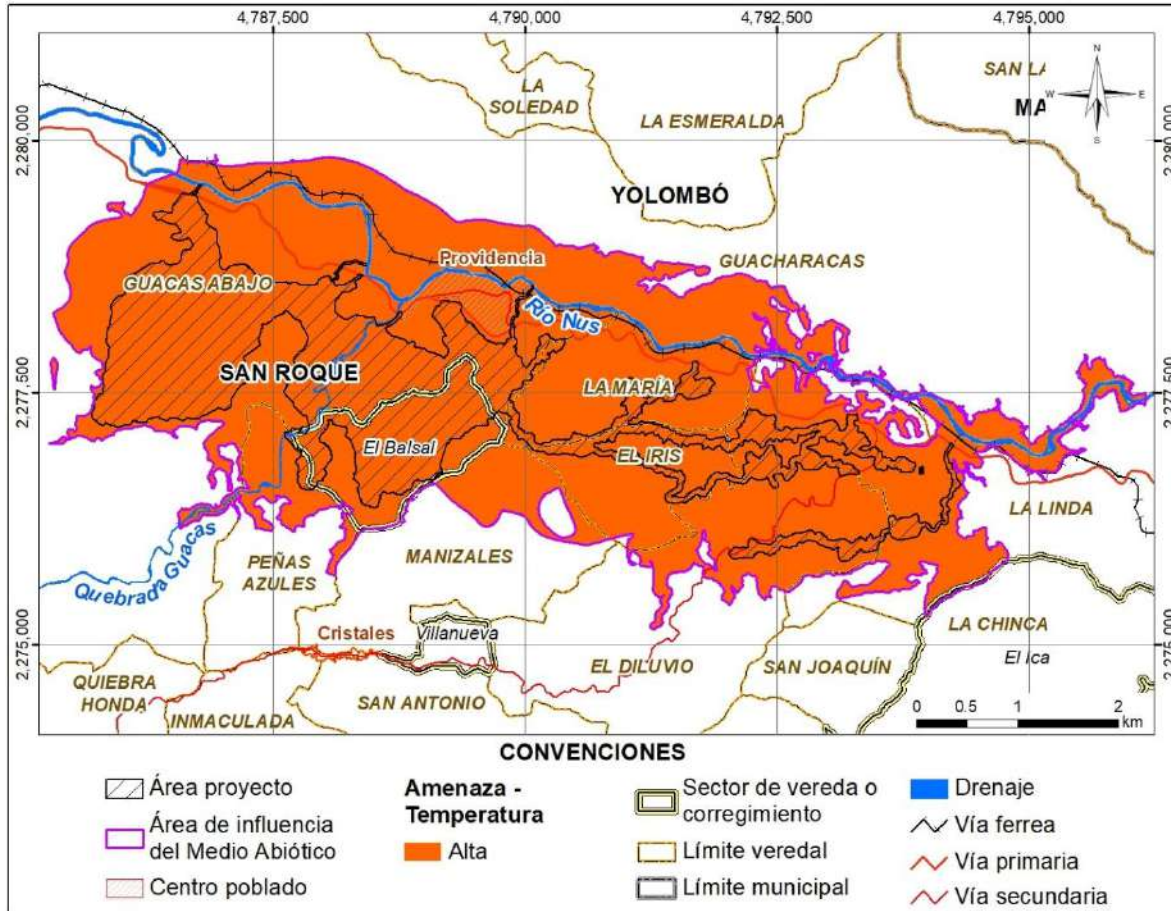


Figura 10.64 Amenaza según el rango de temperatura anual

Fuente: Integral S.A., 2026

El grado de la pendiente influye en la transmisión del calor de las llamas hacia la vegetación circundante; sobre secando la vegetación a favor de pendiente y preparándola para que, a la llegada del fuego, éste propague de forma más rápida e intensa a favor de la pendiente que en contra. A partir del mapa de curvas de nivel se genera el modelo digital del terreno y a partir de éste el mapa de pendientes en porcentaje.

- Incorporación de información de pendientes en la evaluación de la amenaza

El mapa de pendientes en porcentaje se reclasifica y se le asigna una clasificación según la Tabla 10.74, dado que, mientras más inclinadas sean las laderas, mayor será la velocidad de propagación del fuego, lo cual se puede evidenciar de manera grafica en la Figura 10.65.

Tabla 10.74 Categorización de amenaza según el grado de pendiente

Pendiente media (%)	Categoría de amenaza	Calificación
0-7 %	Muy baja	1
7-12 %	Baja	1
12-25 %	Moderada	2
25-75 %	Alta	3

Pendiente media (%)	Categoría de amenaza	Calificación
>75 %	Muy alta	4

Fuente: Integral S.A., 2025

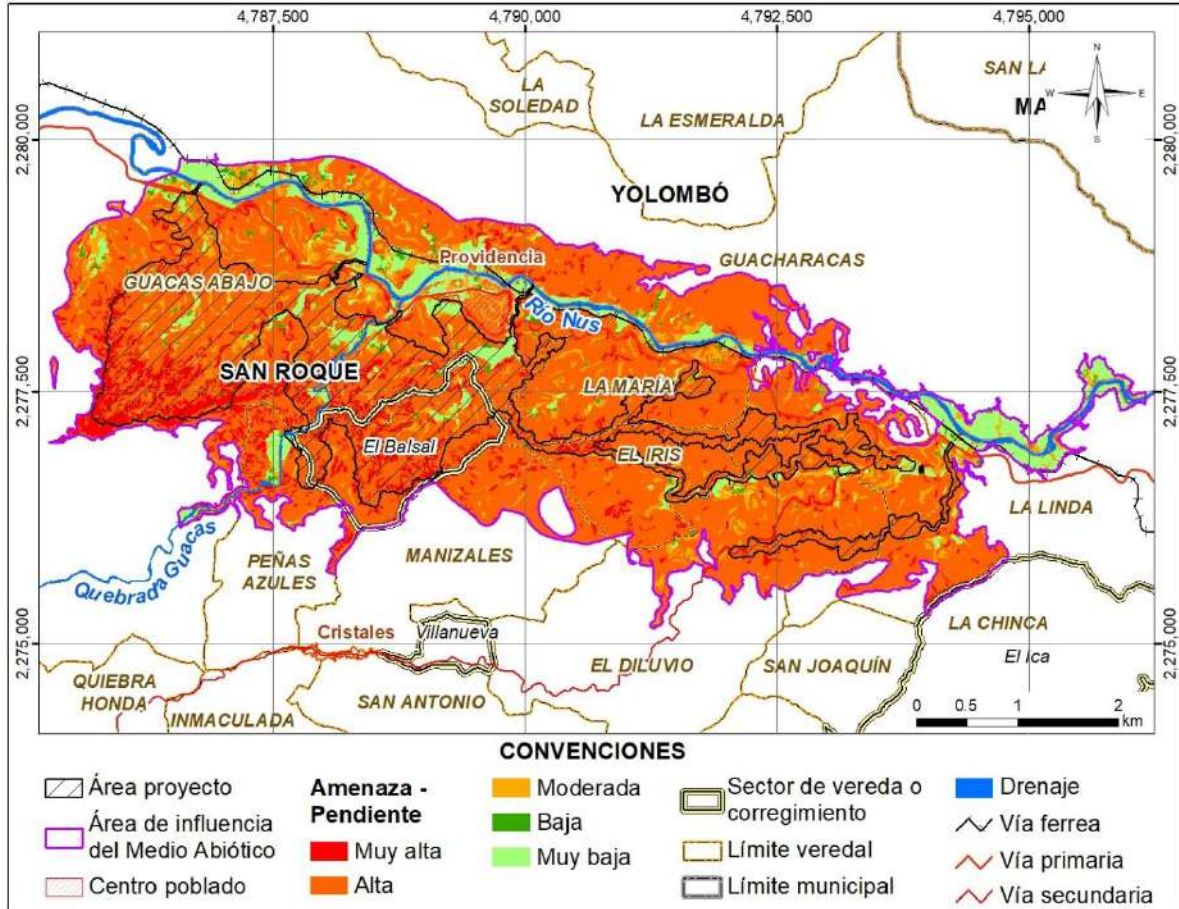


Figura 10.65 Amenaza según el grado de pendiente

Fuente: Integral S.A., 2026

- Factor de frecuencia

Para este proyecto específico el factor de frecuencia se relaciona con base en los reportes de incendios forestales en el municipio y en el análisis del monitoreo de puntos de calor en Colombia definidos por el IDEAM (IDEAM, 2025) . En este contexto, dado que no se registran incendios forestales en la zona donde se localiza el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y los puntos de calor identificados por el IDEAM se encuentran considerablemente alejados de esta área, el nivel de amenaza asociado a este factor se considera bajo, como se muestra en la Figura 10.66.

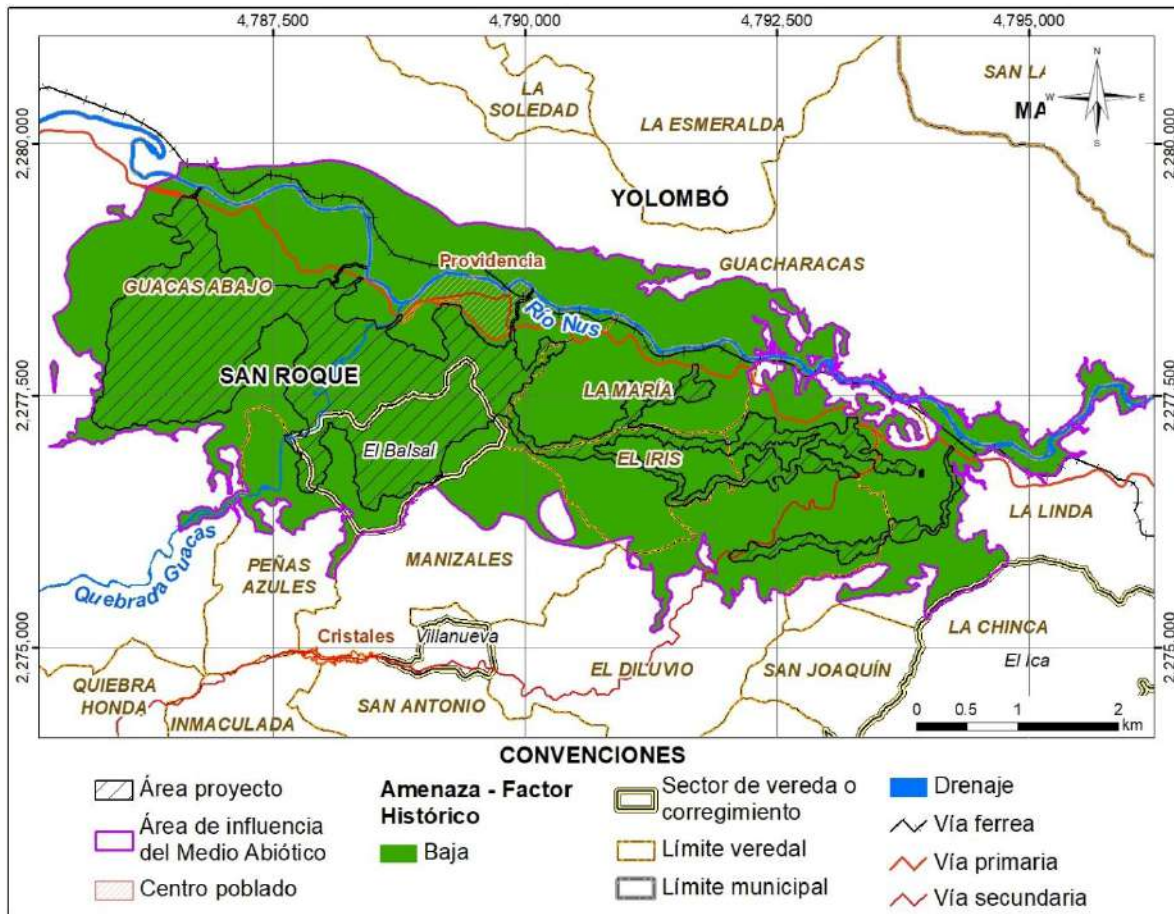


Figura 10.66 Amenaza según el factor histórico

Fuente: Integral S.A., 2026

- Factor de accesibilidad

Este factor se considera en el análisis de la Amenaza puesto que es fundamental tener en cuenta la probabilidad de que la población pueda acceder a las áreas forestales y generar focos de incendio, más aún cuando según el Ministerio de Ambiente, casi la totalidad de los incendios forestales ocurridos en Colombia tienen como origen el desarrollo de actividades humanas.

Este análisis se realiza a partir del mapa de la red vial a partir del cual se generan cinco zonas buffer para las vías existentes en el área de influencia. Para este proceso, se debe realizar a partir del mapa vial (vías principales y secundarias), la generación de cinco (5) zonas buffer cada una de 500 m de grosor (250 m a cada lado); una vez generados los buffers, se procede a su calificación para la generación de las amenazas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre ellas, de acuerdo con los siguientes criterios establecidos en la Tabla 10.75 y representados de manera grafica en la Figura 10.67.

Tabla 10.75 Categorización de amenaza según la distancia red vial

Distancia a la vía (grosor del buffer en m)	Categoría de amenaza	Calificación
0-500	Muy alta	5
500-1500	Alta	4
1000-1500	Moderada	3
1500-2000	Baja	2
Más de 2000	Muy baja	1

Fuente: IDEAM, 2015

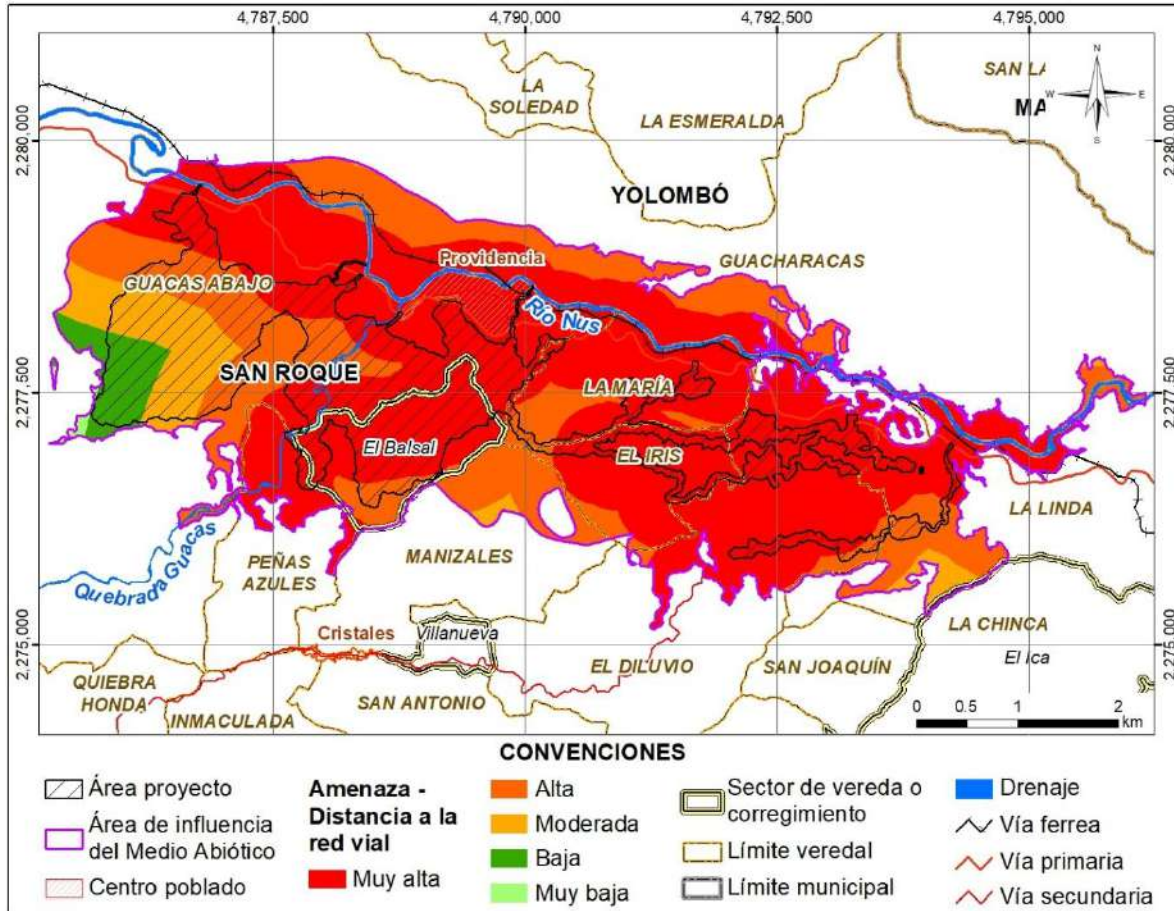


Figura 10.67 Amenaza según la distancia a la red vial

Fuente: Integral S.A., 2026

- Obtención del mapa ante incendios de cobertura vegetal

El mapa de amenaza por incendios es un insumo relevante en estudios ambientales, además de ser de gran importancia para la toma de decisiones en lo concerniente a estudios de gestión y reducción del riesgo.

Con el resultado obtenido a partir de la generación de susceptibilidad de la vegetación a incendios y los insumos de precipitación, temperatura, pendientes, histórico y accesibilidad se genera la zonificación de amenazas a incendios mediante una suma ponderada, con la información generada durante los procesos anteriores, a partir de la relación de álgebra de

mapas genera una suma ponderada la cual equivale a la amenaza total por incendios forestales.

$$\begin{aligned} \text{Amenaza} = & \text{susceptibilidad de la vegetación} * (0.17) + \text{precipitación} * (0.20) \\ & + \text{temperatura} * (0.20) + \text{pendientes} * (0.07) + \text{frecuencia} * (0.10) \\ & + \text{accesibilidad} * (0.10) \end{aligned}$$

Una vez realizada la respectiva suma ponderada, se procede a realizar una distribución de frecuencias en cinco (5) rangos para así llegar a categorizar el grado de amenaza entre muy baja (rango menor) a muy alta (rango mayor), considerando las categorías intermedias de baja, media y alta, respectivamente. Con la información generada de los factores propios del área de análisis y mediante procesos de álgebra de mapas, se generó una suma ponderada la cual equivale a la amenaza total por incendios forestales.

En la Tabla 10.76 se presenta la distribución porcentual de la amenaza con su respectiva categoría de la amenaza y en la Figura 10.68 se muestra la distribución espacial en el área de influencia abiótica de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Tabla 10.76 Categorización de la zonificación de la amenaza por incendios forestales

Categoría de amenaza	Rango	Área (Ha)	Área (%)
Muy baja	<2,21	169,94	6,81
Baja	2,21 – 3,07	411,39	16,49
Media	3,07 – 3,27	726,81	29,13
Alta	3,27 – 3,44	877,12	35,15
Muy Alta	>3,44	310,03	12,42
Total		2495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2026

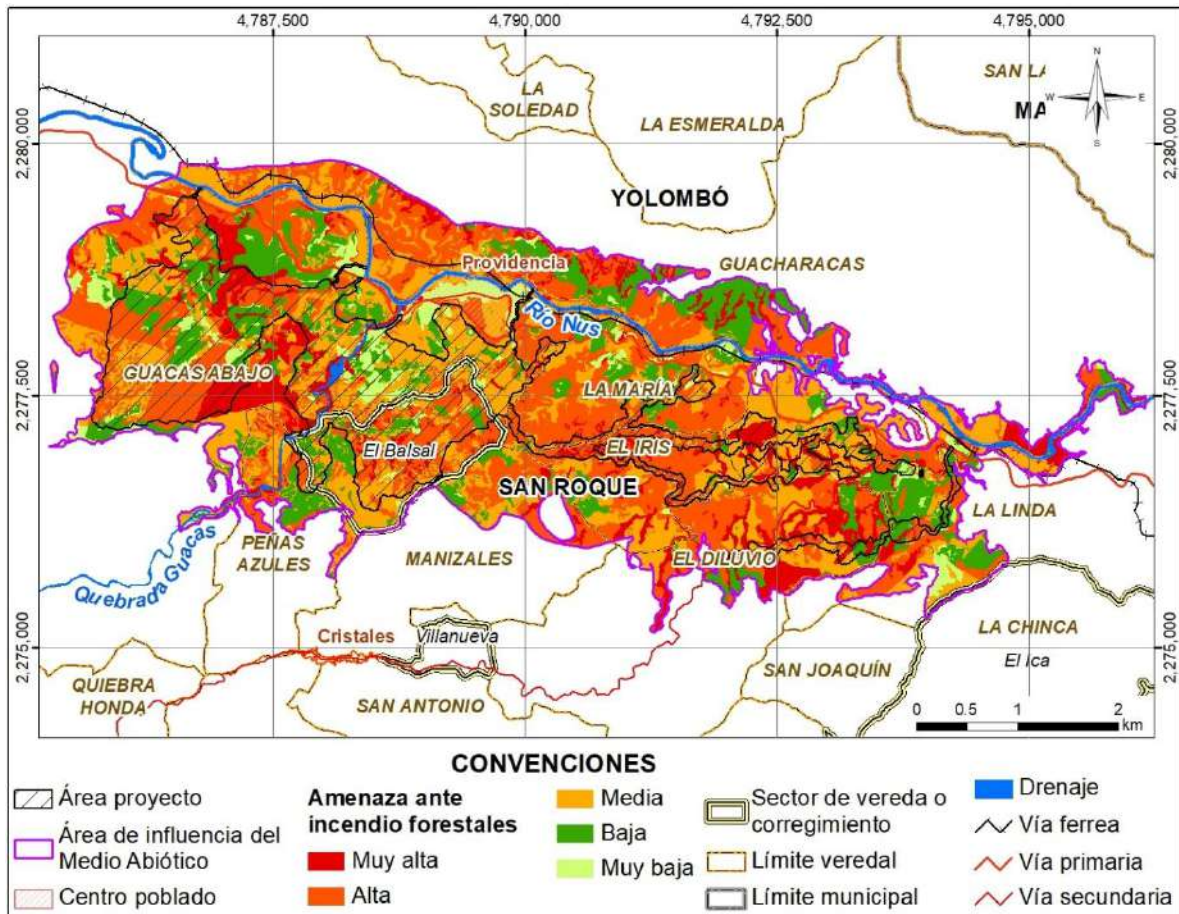


Figura 10.68 Mapa de amenaza ante incendios forestales

Fuente: Integral S.A., 2026

I. Escenario de riesgo asociado a incendios forestales

i. Incendio forestal que genere un evento interno

Corresponde a un incendio forestal de tal magnitud que alcanzaría la infraestructura del proyecto, llegando a generar incendios en las instalaciones e incluso explosiones dado el almacenamiento y manipulación de explosivos y combustible durante la etapa operación del proyecto. Este escenario se considera poco probable, dado que a pesar de que el municipio de San Roque y la región en general tienen un sistema atención de emergencias con falencias para atender un incendio forestal, el proyecto cuenta con personal activo del Equipo de Respuestas de Emergencia (ERT), además de contar con un sistema de Control de Incendios diseñado para sus instalaciones con suplemento de recursos para la atención de estas contingencias.

C. Amenazas antrópicas

Las amenazas antrópicas corresponden a aquellas que se originan por acciones humanas, de carácter intencional, y que pueden generar afectaciones tanto al interior del proyecto

como en su entorno. En el marco de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, la amenaza antrópica identificada está asociada a situaciones de orden público y social.

a. Orden público y social

Las amenazas de origen antrópico corresponden al peligro latente producido por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios, así como el uso de la infraestructura y edificios (UNGRD, 2017).

Los problemas de orden público y social pueden estar asociados a problemas sociales ajenos al proyecto como lo son la presencia de diferentes grupos al margen de la ley, los cuales pueden alterar el orden y propiciar eventos de sabotaje o atentados hacia el proyecto, afectando las obras, la infraestructura, la maquinaria, las vías e incluso el personal.

Adicional a esto, se pueden presentar problemas desencadenados directamente por la intervención del proyecto en la región, como lo son los paros cívicos, huelgas o protestas como reacción del personal o la comunidad del área de influencia, a causa de alguna inconformidad frente al proyecto.

Las áreas de mayor susceptibilidad ante la amenaza de orden público y social corresponde con las vías de acceso al proyecto, la infraestructura que aloja al personal y las áreas de almacenamiento de sustancias químicas, lo cual se le asigna un nivel de amenaza media, mientras que el resto del área de intervención directa corresponde con un nivel de amenaza bajo ante esta amenaza tal como se muestra en la Figura 10.69.



temporal de las operaciones; además de generar un posible deterioro en las relaciones del proyecto con la comunidad.

ii. Paros o huelgas por parte del personal del proyecto

Este escenario hace referencia a un problema de orden público originado directamente por el personal, el cual puede ser causado por insatisfacción ante algún aspecto del proyecto minero. La principal consecuencia ante la ocurrencia de un evento de este tipo sería el retraso en los cronogramas producto de la suspensión temporal de las actividades programadas en cualquiera de las fases del proyecto.

D. Amenazas operacionales/tecnológicas

Las amenazas de origen tecnológico están vinculadas a accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructura o ciertas actividades que pueden causar muertes o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica y/o degradación ambiental. También se conocen como eventos tecnológicos e incluyen explosiones, derrames, incendios estructurales y no estructurales, fugas, colapsos estructurales, emisiones atmosféricas y accidentes de transporte. Entre las principales causas de este tipo de amenazas se destacan las siguientes (UNGRD, 2018):

- Desconocimiento o conocimiento inadecuado
- Deficiencia en los materiales de construcción de las instalaciones
- Deficiencias tecnológicas en los instrumentos de operación
- Uso de sustancias químicas peligrosas
- Malas prácticas de conducción y problemas en las vías
- Fallas en la operación
- Fallas en el proceso
- Fallas de equipos
- Fallas de diseño
- Factor humano
- Fenómenos naturales o socio-naturales
- Actores externos

En el marco de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, las amenazas operacionales identificadas corresponden con explosiones no controladas, derrama de materiales peligrosos, incendio estructural, colapso estructural, falla de la presa de colas, falla de la tubería de colas, derrame de taludes de los depósitos de material y tajos, emergencia sanitaria y accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible).

a. Explosiones no controladas

Una explosión es una súbita liberación de gas a alta presión en el ambiente. Según su naturaleza, las explosiones se pueden clasificar en físicas y en químicas (UNGRD, 2017). Según (Botta, 2025) los elementos comunes a los distintos fenómenos que se consideran explosiones son los siguientes:

- La sustancia liberada ha de encontrarse en fase gaseosa. Puede tratarse de un gas, un vapor, una mezcla de gases o una mezcla de vapores. No importa el estado en

que se encuentra la sustancia, sino que lo que se escape a alta presión sea un gas o vapor.

- La liberación ha de ser súbita, en el sentido de muy rápida, es decir, que ha de ser lo suficientemente rápida como para que la energía contenida en el gas se disipe en el ambiente mediante una onda de presión destructiva u onda de choque. No se trata de un escape de gas suave y paulatino, sino brusco y violento.
- La presión del gas en el momento de la liberación ha de ser alta, es decir, que su energía potencial ha de ser suficiente para iniciar y mantener una expansión destructiva.
- La liberación ha de producirse en el ambiente, es decir, fuera de un recipiente. Ambiente significa tanto el aire como un recinto. Recipiente significa un depósito, un conducto o un reactor de proceso.
- La sustancia involucrada en la explosión puede ser combustible o incombustible. Esto puede determinar tanto el origen de la explosión (físico o químico) como su desarrollo.
- La sustancia involucrada puede tratarse de un sólido, un líquido, un gas, un vapor, un polvo en suspensión, un líquido nebulizado o una mezcla de éstos.
- La sustancia involucrada puede encontrarse libre o estar confinada en un recipiente o en un recinto. Si está confinada puede encontrarse a la presión atmosférica o a una presión distinta, generalmente superior a la atmosférica.

En todos los casos descritos anteriormente se produce una expansión de gases que lleva asociada una onda de presión destructiva.

Las explosiones pueden tener por origen un fenómeno físico, un fenómeno químico o una combinación de fenómenos físicos-químicos. Las explosiones físicas constituyen descargas de gas a alta presión sin presencia de reacción química y se dividen principalmente en dos: i) explosión por liberación de un gas comprimido y ii) explosión por liberación de gas licuado inflamable o no inflamable (BLEVE, sigla de Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). En esta última, cuando hay sustancias inflamables o combustibles involucradas, se produce incendio de bola de fuego posterior a la explosión (Botta, 2025).

Las explosiones asociadas a reacciones químicas requieren al menos dos productos químicos que reaccionan entre sí. Dichas reacciones generan gases y calor dentro del recipiente que contiene los productos, aumentando la presión y debilitando el recipiente, luego de lo cual se produce la explosión por liberación súbita de gas a alta presión en el ambiente.

Las explosiones químicas se dividen en: i) explosiones térmicas; ii) explosiones por deflagración, en donde la presión y la velocidad de propagación son bajas y el frente de llama respecto a la onda de presión es atrasado - gases y vapores, nubes de vapor no confinadas, polvos en suspensión, descomposición de peróxidos; y iii) explosiones por detonación, en donde la presión y la velocidad de propagación son altas y el frente de llama respecto a la onda de presión es acoplado - vapores y gases, polvos (Botta, 2025).

Las causas de explosiones generalmente están asociadas a errores humanos, incendios, derrames de sustancias inflamables y/o combustibles, fugas de gases inflamables, polvos combustibles, fallas en los equipos, condiciones inadecuadas en el almacenamiento de sustancias químicas, condiciones inadecuadas o accidentes en el transporte interno

motorizado y no motorizado de sustancias químicas. Otras causas de explosiones son los eventos de origen natural como sismos, inundaciones, avenidas torrenciales, movimientos en masa, entre otros, que pueden desencadenar accidentes tecnológicos, que corresponden a los eventos NATECH - Natural hazard-triggered technological accidents.

Además de las causas anteriores, se debe señalar que las explosiones también pueden ser causadas por acciones intencionales, tales como atentados.

Dentro de los efectos o consecuencias que pueden producir las explosiones se encuentran: daños a la infraestructura, equipos y materias primas, contaminación atmosférica, contaminación hídrica, impactos a la flora y fauna del área impactada y afectaciones a la salud de las personas expuestas (toxicidad, radiación térmica y sobrepresión).

I. Escenarios de riesgo asociado a explosiones no controladas

i. Explosión accidental en almacenamiento de materiales explosivos (polvorín)

El escenario de explosión del polvorín corresponde a la detonación accidental de todo el material almacenado, con un equivalente energético de 72.568,77 kg de TNT, originada principalmente por actos inseguros o errores humanos durante la manipulación, ya que el documento concluye que la causa más probable no es una falla técnica sino una violación de los protocolos de seguridad. La onda explosiva generada se modela con la ecuación de Sadoski, estimándose radios de afectación de 189 m para daños severos (8 psi), 302 m para daños estructurales moderados (3,5 psi) y 726 m para daños leves (1 psi), lo que incluye desde ruptura de muros de ladrillo hasta afectaciones reparables en edificaciones y riesgo fisiológico menor para personas expuestas.

Este escenario de riesgo se amplía en el Anexo_PGR_Riesgo_Tecnológico, en el cual además se destaca que, de acuerdo con lo observado en el radio de afectación, según el cálculo realizado se tendría una afectación media en la infraestructura AS5 y una afectación baja en la presa Guasca MEIA y en la zona del depósito El Balsal. Sin embargo, este cálculo no tiene en cuenta las diferentes barricadas que se van a instalar alrededor del polvorín, las cuales funcionan como reductor de la sobrepresión generada por la explosión. Adicionalmente, el cálculo no tiene en cuenta que los explosivos están confinados al interior de contenedores, que también atenúan la explosión. Por lo anterior, y siempre y cuando se mantengan las medidas de seguridad sugeridas, no se esperan afectaciones más allá de las áreas del polvorín.

Este escenario contempla la planta de transferencia ya que en esta se encontrará la emulsión matriz inerte, la cual corresponde a una solución acuosa de nitrato propensa a explosiones al exponerse al fuego directo; para el caso del polvorín, este almacenará los accesorios de voladura como el NONEL, el cual corresponde a un detonador no eléctrico sensible a la fricción, temperatura e impacto, además de los conectores de fondo, las líneas de tiro, el booster, el cordón detonante y el fulminante.

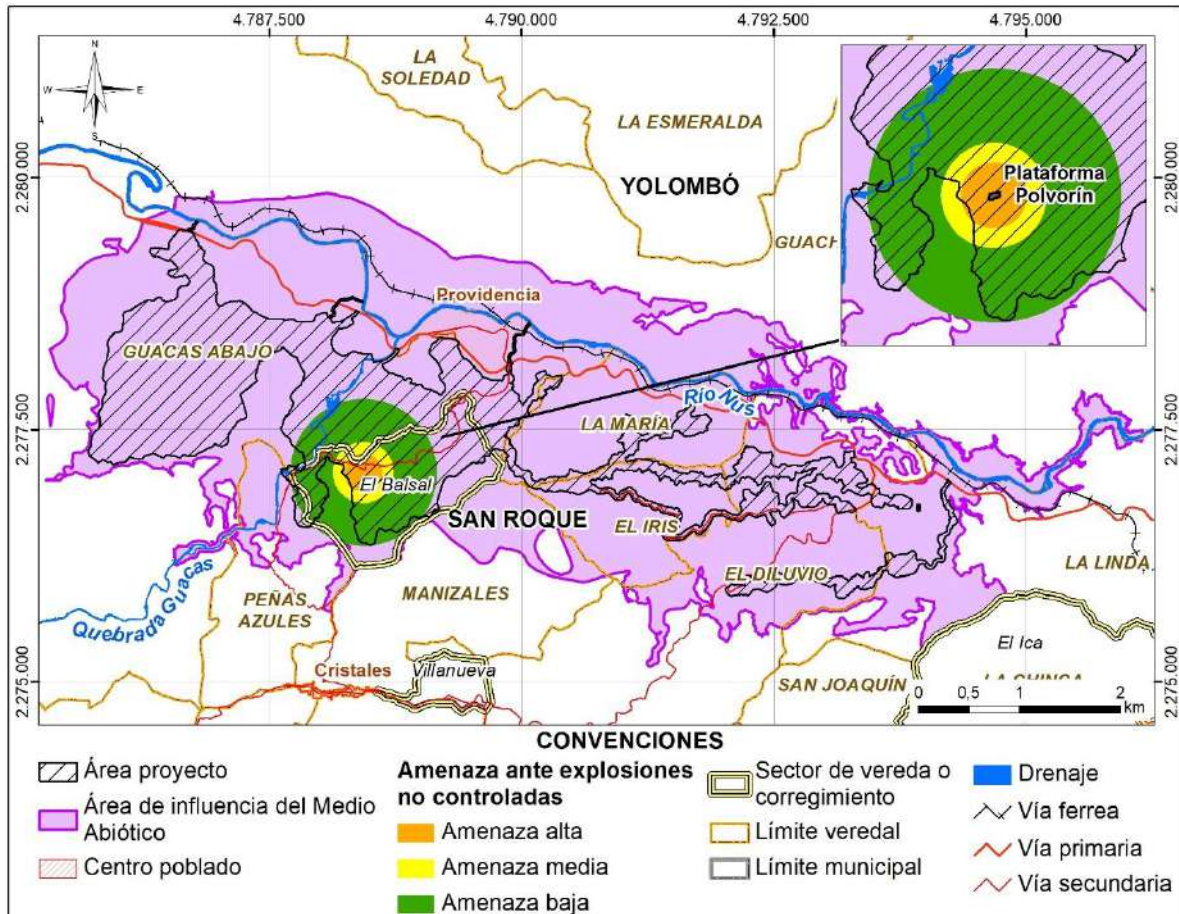


Figura 10.70 Amenaza ante explosiones no controladas

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Derrame de materiales peligrosos

Un derrame es un vertimiento accidental de un producto líquido o sólido (UNGRD, 2017). Los derrames que pueden tener mayores consecuencias o efectos son los derrames asociados a sustancias químicas y residuos peligrosos.

Dentro de las causas de materialización de los derrames se encuentran errores humanos, condiciones inadecuadas de manipulación, almacenamiento y transporte de sustancias y residuos, fisuras o daños en tuberías de conducción, fallas en procesos, fallas en equipos, fallas en operación, pérdidas de contención, entre otros. Además, eventos de origen natural y socio-natural como sismos, inundaciones, avenidas torrenciales, movimientos en masa, entre otros, pueden desencadenar accidentes tecnológicos como derrames generando lo que se conoce como eventos Natech - Natural hazard-triggered Technological accidents (UNGRD, 2022).

Dentro de las principales consecuencias asociadas a los derrames se encuentra la liberación de sustancias tóxicas a la salud humana y de otros seres vivos e igualmente la generación de áreas de alta concentración de vapores inflamables. Asimismo, está la

liberación de contaminantes a la atmósfera y la contaminación de fuentes hídricas. También se pueden presentar daños a la infraestructura, equipos y materias primas.

Las consecuencias anteriormente mencionadas podrían ser mayores, dependiendo de los elementos expuestos al derrame (sustancias, equipos, etc.) que pueden agravar el escenario debido a incompatibilidades químicas, reacciones de incendio y/o explosión. Dentro de las principales sustancias que pueden estar asociadas a derrame se encuentran:

- Líquidos inflamables: Diésel, Metil Isobutil Carbinol (MICB), aceite dieléctrico
- Líquidos corrosivos: Cianuro de sodio (NaCN), Ácido clorhídrico (HCl), Hidróxido de sodio o Soda cáustica (NaOH), Metabisulfito de sodio (SMBS) y soluciones de reactivos

I. Escenarios de riesgo asociados a derrame de materiales peligrosos

ii. Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación al suelo

El escenario hace referencia a la ocurrencia de un accidente durante alguna actividad en la que se manipule cierta sustancia con alto grado de toxicidad; dicho accidente genera el derrame de la sustancia, la cual entraría en contacto con el suelo, para el caso de las sustancias en estado líquido estas podrían llegar a infiltrarse, ocasionando la contaminación al suelo además de la posible contaminación de los acuíferos.

Estos accidentes como se mencionó anteriormente pueden ocurrir durante el transporte de las sustancias, en los lugares de almacenamiento y/o manipulación de dichas sustancias.

iii. Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación a cauces de agua

El escenario hace referencia a la ocurrencia de un accidente durante alguna actividad en la que se manipule cierta sustancia con alto grado de toxicidad; dicho accidente generaría el derrame de la sustancia en cuerpos de agua, en el caso de las sustancias en estado líquido el derrame se puede ocasionar en el suelo, la cual fluiría hasta llegar a alcanzar alguna corriente de agua ocasionando la contaminación de dichos cuerpos de agua, llegando a afectar las especies acuáticas e incluso a animales y personas que se abastecen de dichas corrientes.

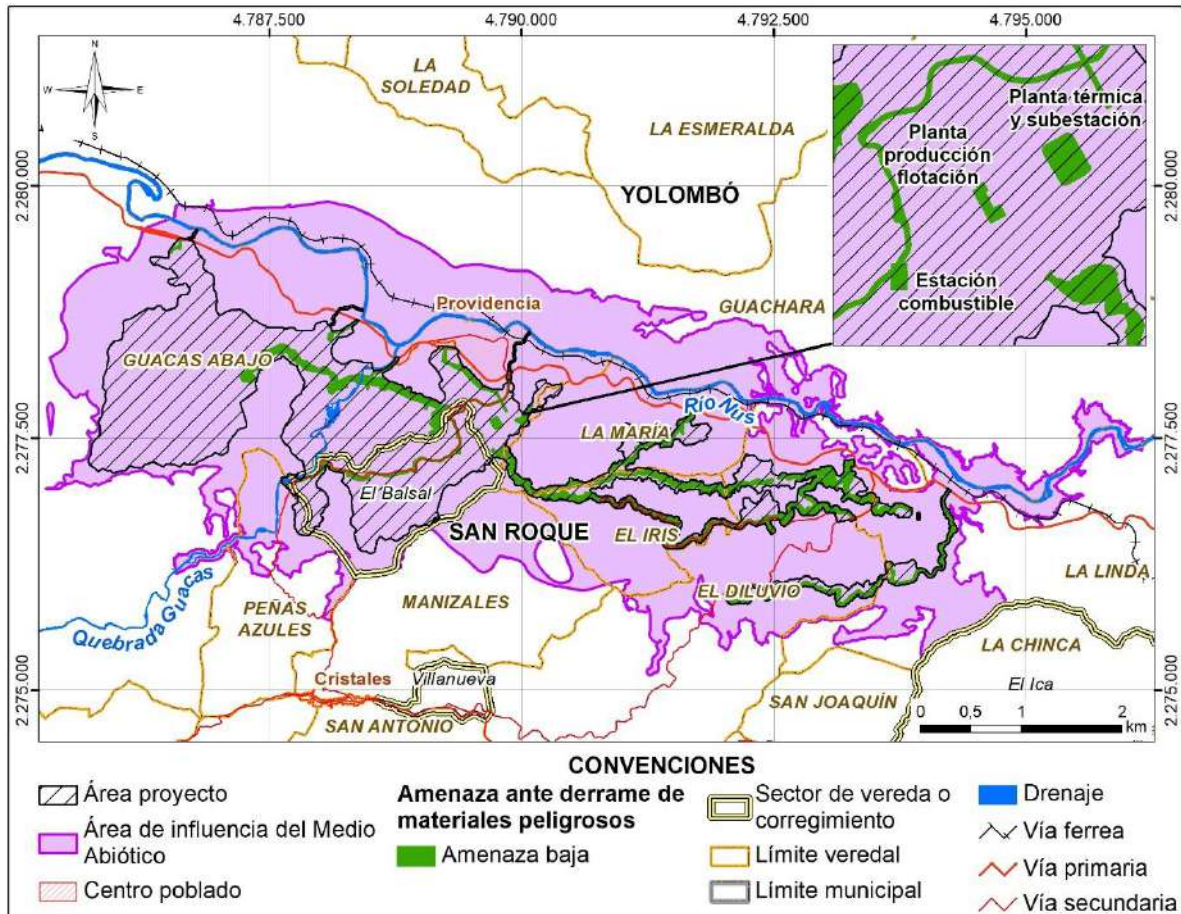


Figura 10.71 Amenaza ante derrame de materiales peligrosos

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Incendio estructural

Un incendio es un fuego de grandes proporciones que se desarrolla sin control y que puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños materiales, interrupción de los procesos de producción, pérdida de vidas humanas y afectación al ambiente. Los incendios se generan por una reacción química de combustión incontrolada, exotérmica, que produce llamas y emite calor. Para que se genere un incendio se necesita una fuente de ignición. Dentro de las principales fuentes de ignición se encuentran: fallas eléctricas; fricción por falta de lubricación de las máquinas; fallas en los equipos a presión; chispas mecánicas cuando se golpean materiales ferrosos con otros materiales; cigarrillos y fósforos; chispas y escoria derretida de soldadura; y superficies calientes, como equipos y tuberías.

Dentro de las principales causas que inciden en la generación de incendios se encuentran los daños y fallas a nivel eléctrico, la falta de mantenimiento de equipos y máquinas, el manejo inadecuado de sustancias químicas y residuos peligrosos, los derrames de sustancias inflamables y/o combustibles, la fuga de gases inflamables, la falta de orden y

limpieza (acumulación de residuos líquidos y sólidos), condiciones inadecuadas o accidentes en el transporte interno motorizado de sustancias químicas (tractocamiones, carrotaques y demás); condiciones inadecuadas en el transporte interno no motorizado de sustancias químicas (exposición de cilindros a golpes, calor, chispas) y condiciones inadecuadas o accidentes en el transporte interno motorizado (transporte de personas)

Los incendios pueden presentarse en instalaciones del proyecto, especialmente en la Plataforma Planta, por lo cual se considera dentro del análisis de riesgo tecnológico (Anexo_PGR_Riesgo_Tecnologico) los siguientes escenarios:

I. Escenarios de riesgo ante incendio estructural

i. Incendio en transformador de aceite

El escenario de incendio en el transformador se origina por una sobrecarga eléctrica que provoca un aumento súbito de presión en la cuba, llevando a la ruptura del tanque y al derrame e ignición del aceite dieléctrico, generando un incendio tipo pool fire. El análisis de consecuencias estima radios de afectación de 47 m para efectos severos, 67 m para efectos medios y 106 m para afectación baja, con posibles quemaduras, ruptura de vidrios e ignición de materiales expuestos. Aunque el evento puede comprometer equipos cercanos, la instalación contempla muros cortafuegos y distancias normativas que permiten confinar el fuego y evitar su propagación fuera de la zona del transformador.

ii. Incendio por tanque de almacenamiento de diésel

El escenario de incendio en el tanque de almacenamiento de diésel se asocia principalmente a la generación de chispas durante actividades de mantenimiento, soldadura o manipulación de equipos que producen energía estática, lo que puede inflamar el combustible derramado y generar un incendio tipo pool fire. El análisis realizado mediante ALOHA indica que la afectación se mantendría en el área inmediata de la instalación, debido a que el sistema cuenta con muros de contención, pisos impermeabilizados, control de drenajes y señalización adecuada, elementos que limitan la propagación del incendio y reducen significativamente los riesgos para otras áreas de la planta.

iii. Incendio en planta proceso – espumador MIBC

El incendio en el espumador MIBC puede originarse por una fuga en las tuberías o válvulas que transportan el metil isobutil carbinol desde el tanque de almacenamiento hacia el proceso, generando vapores inflamables que pueden entrar en ignición por chispas de trabajos en caliente, motores, superficies calientes o acumulación de estática. Este escenario deriva en un pool fire cuya afectación se estima dentro del área abierta del tanque y zonas cercanas del proceso de flotación, sin propagación significativa hacia otras áreas gracias a la ventilación requerida, protocolos de control de ignición y sistemas de extinción adecuados al tipo de sustancia, como espumas y agentes clase B.

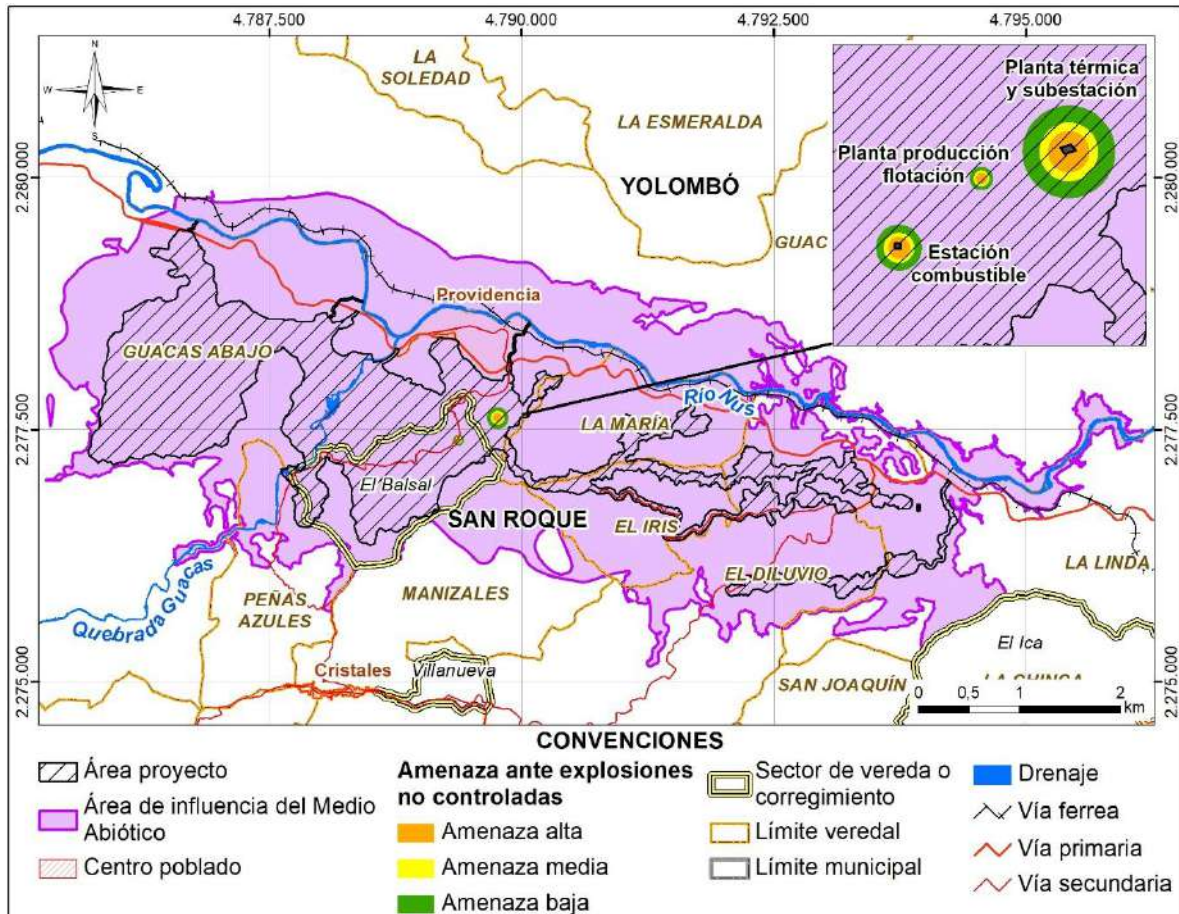


Figura 10.72 Amenaza ante incendio estructural

Fuente: Integral S.A., 2025

d. Colapso estructural

El colapso estructural se refiere a cualquier condición externa o interna que incapacita a una estructura o elemento estructural a cumplir la función para la que ha sido diseñada, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción (UNGRD, 2022). Las principales causas asociadas a los colapsos estructurales pueden ser: sismos o deslizamientos, sin embargo, también pueden presentarse por factores como: diseño defectuoso, incumplimiento en las normas constructivas, material de mala calidad o fatiga de materiales.

Las posibles consecuencias o efectos asociadas al colapso de estructuras son: afectación a los trabajadores de las oficinas y gente que se encuentre alrededor, daños en la maquinaria, materiales y equipos.

I. Escenarios de riesgo por colapso estructural

i. Rotura de los tanques de procesos de lixiviación en la planta de beneficio

Si bien la planta es una obra objeto de modificación, el proceso de operación mantiene el circuito de lixiviación por lo cual se conservan los análisis de este escenario aprobados en el PGR_01_V1 mediante la resolución 1514 de 2015.

El circuito de lixiviación del proyecto Gramalote, consistirá en un tanque de pre-oxigenación, seguido de tanques agitadores que operaran en serie.

El material que alimentará este circuito provendrá de: el bajo-flujo del espesador de concentrados, la solución pobre (obtenida al final del proceso de precipitación y filtración de los metales) y los derrames del área del circuito de lixiviación, elución y cuarto del oro. Todos estos flujos se mezclarán en el tanque de pre-oxigenación.

En este tanque, el cual contará con agitación permanente, se adicionará cal con el fin de modificar el pH hasta llegar a 10,5 aproximadamente, previo a la adición de cianuro y así evitar la formación de ácido cianhídrico.

El circuito contará con tanques de cianuración con proceso de agitación constante.

A pesar de que el diseño de los tanques se realiza acorde a las normas de almacenamiento y manejo de este tipo de sustancias, podría darse la rotura de estos por alguna de las causas anteriormente mencionadas, liberando el material contenido en los mismos.

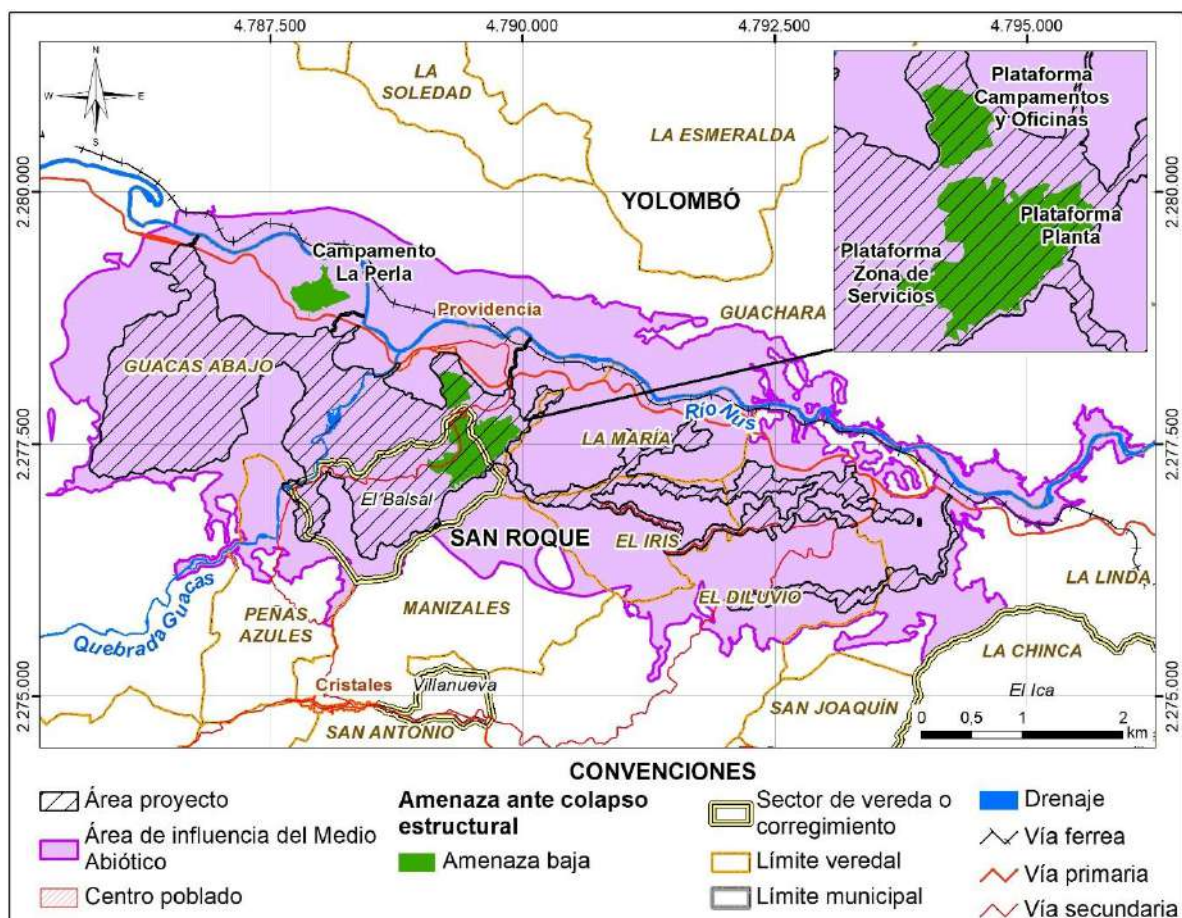


Figura 10.73 Amenaza ante colapso estructural

Fuente: Integral S.A., 2025

e. Falla de la presa de colas

Es importante mencionar la presa de colas no es una obra objeto de modificación y que esta amenaza y los escenarios de riesgo identificados han sido evaluado en el Plan de Gestión del Riesgo (PGR_01_V1) aprobado en la resolución 1514 de 2015.

La infraestructura de presa de colas abarca dos presas: presa de arranque y presa de arenas; la falla y rotura de dichas presas ocasionaría la liberación de grandes volúmenes y caudales de agua almacenados en las mismas, desencadenando una gran inundación aguas abajo, que llegaría a más de 22 Km donde se encuentra el municipio de Caracolí.

Según el análisis de rotura de presa (Véase Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas), para estimar dichos volúmenes y caudales se asumen cuáles serían los escenarios hipotéticos que provocarían la rotura de la presa, de acuerdo con el estado del conocimiento acerca de las causas de rotura de las presas, el sobrepaso es el principal modo de falla identificable en las presas de relaves por ICOLD (2001) y la tubificación o erosión interna también es uno de los mayores modos de fallas.

El estado hidrológico de la presa en el momento de rotura hace parte de la definición de las condiciones de los escenarios hipotéticos. Las dos condiciones generales evaluadas son:

- Fallas en día soleado: cubren aquellas fallas de presas repentinas que resultan durante condiciones normales de operación y pueden ser causados por un sismo, una operación deficiente de la presa, u otro evento (CDA, 2013).
- Fallas en día lluvioso: cubren aquellas fallas de presas que coinciden con una gran inundación, mayor a la que la presa puede cubrir (CDA, 2013).

I. Escenarios de riesgo asociados a la falla de la presa de colas

i. Rotura de presa de arranque - condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación

La falla de tubificación puede ser accionado por infiltración de flujos de agua por una zona de alta conductividad al interior de la presa de arranque, producto de este flujo continuo se erosiona el material con el paso del agua hasta generar tubificación, esta tubificación será cada vez mayor hasta llegar a ocasionar el colapso de algún segmento del terraplén sea por afectación en el cuerpo o en la cimentación de este, lo cual conllevará al rompimiento de la presa en dicha zona.

En caso de que se materialice este escenario, se liberaría el material almacenado en la presa el cual corresponde a relaves y agua, los cuales inundarían aguas abajo llegando a afectar infraestructura vial y viviendas.

ii. Rotura de presa de arranque – condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso

La falla de sobrepaso es producto de un evento de inundación extremo o de deslizamiento de tierras al interior del embalse, ocasionando el rebose de la presa, ante la ocurrencia de este escenario se podría presentar la erosión del talud aguas abajo, debilitando la estructura y desencadenando su ruptura. Otros posibles mecanismos de generación de un desborde

pueden ser la pérdida de borde libre luego de un evento sísmico seguido de uno o varios eventos de que produzcan altos niveles de aguas, taponamiento de las estructuras de decantación y vertederos durante eventos de precipitación, y la operación de la instalación con un volumen mayor al considerado en el diseño produciendo un borde libre menor al necesario para el manejo de inundaciones.

En caso de que se materialice este escenario, se liberaría el material almacenado en la presa el cual corresponde a relaves y agua, los cuales inundarían aguas abajo llegando a afectar infraestructura vial y viviendas.

iii. Rotura de presa de arena - condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación

La falla de tubificación corresponde a la infiltración de flujos de agua por una zona de alta conductividad al interior de la presa, producto de este flujo continuo se erosiona el material con el paso del agua hasta generar tubificación, esta tubificación será cada vez mayor hasta llegar a ocasionar el colapso de algún segmento del terraplén sea por afectación en el cuerpo o en la cimentación, lo cual conllevará al rompimiento de la presa en dicha zona.

Como el nombre lo indica la presa de arena está conformada por arena, esta es extraída de los ciclones, y utilizada para la construcción de la presa con el fin de aumentar el almacenamiento total del depósito; la arena debe ser compactada con el fin de disminuir la susceptibilidad a la licuefacción. Dado el material, la rotura de esta presa ocasionaría la liberación de un volumen considerable de sedimentos a la quebrada La Palestina.

iv. Rotura de presa de arena – condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso

La falla de sobrepaso es producto de un evento de inundación extremo o de deslizamiento de tierras al interior del embalse, ocasionando el rebose de la presa, ante la ocurrencia de este escenario se podría presentar la erosión del talud aguas abajo, debilitando la estructura y desencadenando su ruptura

Otros posibles mecanismos de generación de un desborde pueden ser la pérdida de borde libre luego de un evento sísmico seguido de uno o varios eventos de que produzcan altos niveles de aguas, taponamiento de las estructuras decantación y vertederos durante eventos de precipitación, y la operación de la instalación con un volumen mayor al considerado en el diseño produciendo un borde libre menor al necesario para el manejo de inundaciones.

Como el nombre lo indica esta presa está conformada por arena, esta es extraída de los ciclones, y utilizada para la construcción de la presa con el fin de aumentar el almacenamiento total del depósito; la arena debe ser compactada con el fin de disminuir la susceptibilidad a la licuefacción. Dado el material, la rotura de esta presa ocasionaría la liberación de un volumen considerable de sedimentos a la quebrada La Palestina.

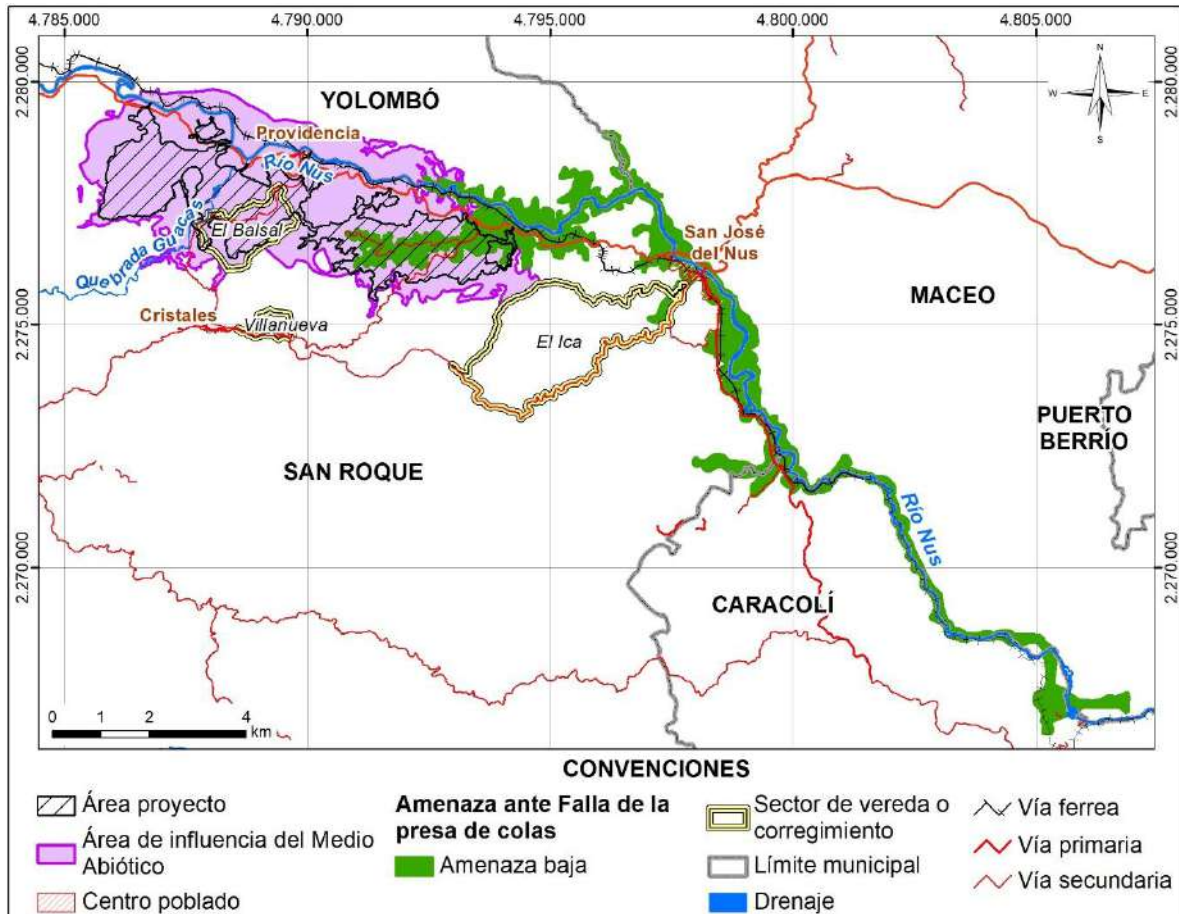


Figura 10.74 Amenaza ante Falla de la presa de Colas

Fuente: Integral S.A., 2025

f. Falla de la tubería de colas

Es importante mencionar que esta amenaza y los escenarios de riesgo identificados han sido evaluado en el Plan de Gestión del Riesgo (PGR_01_V1) aprobado en la resolución 1514 de 2015.

La tubería de colas es un alineamiento utilizado para el transporte de colas. La ruptura de esta tubería podría presentarse por múltiples causas, entre las cuales encontramos: problemas de inestabilidad geotécnica, sismos, materiales defectuosos o atentados.

Las colas de flotación se bombearán mediante dos estaciones de bombeo y se utilizará tubería de acero al carbono con un diámetro de 20 pulgadas. En la primera estación de bombeo se tendrá un tanque de retención. Esta estación también contará con 3 bombas centrifugas que serán instaladas en serie y otras 3 bombas adicionales con las mismas características y disposición para ser usadas como reserva. El tramo desde la estación de bombeo 1 hasta el tanque de retención previo a la estación de bombeo 2 será de 3.6 km.

La segunda estación de bombeo contará con 4 bombas centrifugas que serán instaladas en serie, y con otras 4 bombas adicionales para ser usadas como reserva. Además, contará

también con un tanque de transferencia, pero de menor capacidad que el de la primera estación. La distancia desde la segunda estación de bombeo hasta la presa de colas será de 4.1 km.

Mientras que, para las colas de lixiviación, al igual que el sistema de bombeo de las colas de flotación, se transportará el material desde la planta de procesamiento hasta la presa de colas, con dos estaciones de bombeo y se utilizará tubería de acero al carbono con un diámetro de 5 pulgadas.

La distancia de bombeo de la primera etapa será de aproximadamente 3.6 km y el material será descargado en un tanque de transferencia, el cual actuará como separador entre las dos estaciones. La distancia de bombeo de la segunda etapa será de 3.0 km y el material será descargado de manera subacuática en la laguna de la presa de relaves. En esta laguna, la tubería de descarga será sostenida por flotadores, y al final de ésta se tendrá un codo sumergido, el cual permitirá que el material sea descargado debajo de la superficie de agua; este codo será sostenido mediante una barcaza.

I. Escenarios de riesgo asociado a la falla de tubería de colas

i. Rotura de la tubería de conducción de colas de flotación o de lixiviación

El material transportado por la tubería corresponde a un fluido viscoso (arenas y lodos), ante la rotura de dicha tubería se podría generar el derrame de la sustancia transportada llegando a afectar las corrientes de agua aledañas e incluso los suelos.

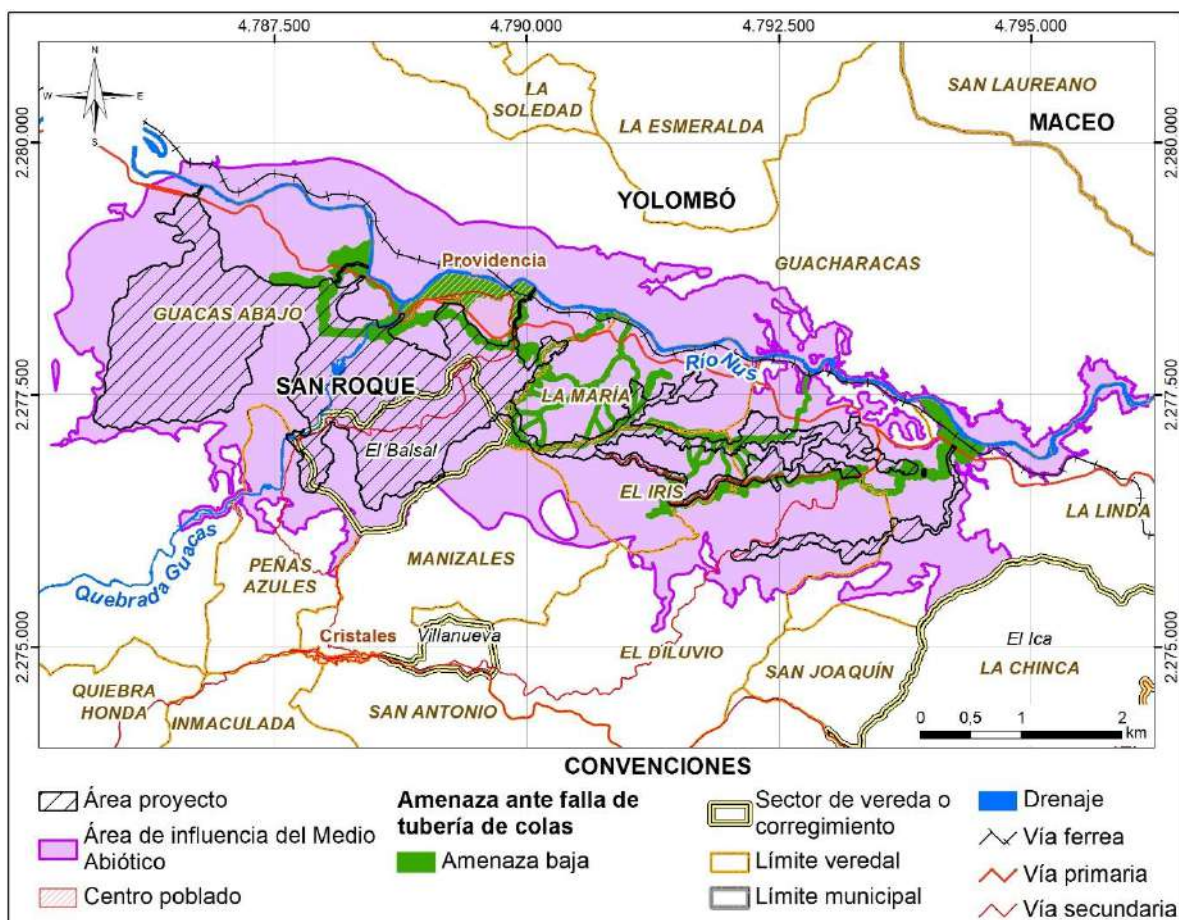


Figura 10.75 Amenaza ante falla de la tubería de colas

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Derrumbes de taludes de los depósitos de material

La Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote considera la operación de depósitos de material, sobre los cuales pueden presentarse movimientos en masa.

Depósito de estériles El Balsal: En la etapa de máxima acumulación, prevista para el año 2037, el volumen almacenado alcanza los 13.47 Mm³. Posteriormente, a medida que avanza el procesamiento del mineral, el volumen remanente se reduce a 3.30 Mm³ hacia el año 2041, fecha en la que está programada la culminación de sus operaciones.

Depósito de estériles San Antonio: En sector San Antonio, rediseñado para 318 Mt de capacidad. El depósito esta propuesto para almacenar material de desmonte del Tajo Gramalote durante un periodo de 11 años, con finalización de la operación programada para el año 2038. El volumen máximo de almacenamiento de material total es de ~116 millones de metros cúbicos (Mm³).

Tierra Group realizó una clasificación preliminar de riesgo para los depósitos San Antonio y El Balsal, de conformidad con las directrices establecidas en la Guidelines for Large Open Pit Mine Projects (LOP, por sus siglas en inglés) (Hawley y Cuning, 2017).

Con el fin de mitigar los riesgos asociados a los depósitos de estériles de Gramalote, la caracterización geológico-geotécnica desarrollada por Tierra Group incluyó los siguientes aspectos:

- Caracterización detallada de los materiales de fundación, mediante perforaciones, calicatas, ensayos geofísicos, pruebas de permeabilidad en campo y la definición de parámetros geotécnicos ajustados a los resultados de la investigación disponible.
- Verificación de un bajo potencial de licuación, limitado únicamente a suelos de origen aluvial y a niveles superficiales de meteorización del batolito. En consecuencia, como parte de la preparación de la fundación, se requiere la inspección geológica y geotécnica durante la etapa de construcción, con el fin de identificar y remover materiales incompetentes, sobre los cuales posteriormente se conformarán los depósitos.
- Definición del tipo de relleno a disponer en los depósitos de estériles, correspondiente a roca competente, con excepción de los materiales oxidados. El comportamiento de estos materiales fue modelado con base en Hawley y Cuning (2017), considerando envolventes definidas en función de la relación entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante.
- Incorporación de la geometría de los depósitos en los análisis de estabilidad. Para el depósito El Balsal, se analizó la sección crítica considerando la configuración máxima proyectada para el año 2037, que contempla una elevación máxima hasta la cota 1010 msnm y un talud global de 2,15H:1,0V. En el caso del depósito San Antonio, se consideró la configuración máxima correspondiente al año 2038 del plan de minado, con una elevación que puede alcanzar la cota 1000 msnm y un talud global de 2,9H:1,0V.
- Definición de los criterios de análisis para los depósitos de estériles, establecidos de acuerdo con las directrices de la Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design (Hawley y Cuning, 2017), con base en las cuales se clasificaron los depósitos San Antonio y El Balsal.

Tabla 10.77 Clasificación de los depósitos de estériles

Depósito	Nivel de confianza	Consecuencia
San Antonio	Moderado	Alta
El Balsal	Moderado	Alta

Fuente: Tierra Group, 2025

La clasificación se basó en los siguientes niveles apropiados de confianza y consecuencia:

“Nivel de confianza moderado:

Corresponde a un nivel de confianza moderado en las condiciones de la fundación, las propiedades de los materiales, los niveles piezométricos, las técnicas de análisis y los mecanismos de inestabilidad. Los parámetros de entrada se encuentran adecuadamente definidos y presentan un grado de variabilidad moderado.

Nivel de consecuencia alto:

Aplica a depósitos con taludes globales superiores a 30° y/o alturas mayores a 250 m, o con ángulos de reposo y alturas superiores a 200 m. Considera la presencia de infraestructura crítica o accesos sin restricciones dentro de la posible sombra de deslizamiento, con medidas limitadas de mitigación o contención.

Asimismo, contempla un potencial de alto impacto ambiental que sería difícil de gestionar, así como una exposición a largo plazo (más de 5 años) en sitios sujetos a precipitaciones anuales altas (1.000–2.000 mm), o una exposición a mediano plazo (1–5 años) en sitios con precipitaciones anuales muy altas (superiores a 2.000 mm) o con estaciones lluviosas intensas.”

Para el depósito San Antonio, Tierra Group seleccionó un nivel de confianza moderado, dado que el área del proyecto ha sido objeto de estudios desde 2012 y se han desarrollado diversas investigaciones geotécnicas por parte de distintos consultores. En el caso del depósito El Balsal, Tierra Group supervisó una campaña de investigación geotécnica realizada entre febrero y abril de 2025, la cual incluyó perforaciones, calicatas, estudios geofísicos y recolección de muestras.

Tierra Group seleccionó un nivel de consecuencia alto para los depósitos San Antonio y El Balsal, debido a que estas estructuras alcanzarán alturas aproximadas superiores a 150 m y estarán sometidas a precipitaciones anuales mayores a 2.000 mm. Las tablas de clasificación correspondientes a los depósitos San Antonio y El Balsal se incluyen en el capítulo 5_7_1_GEOTECNIA del presente MEIA.

Con base en esta clasificación, el sismo de diseño de los depósitos de estériles corresponde al Máximo Evento Creíble (MCE) definido en el estudio de amenaza sísmica, para el cual se adoptó un PGA base de 0,37 g, un coeficiente sísmico horizontal del 50 %, siguiendo lo propuesto por Hynes y Griffin (1984) y la práctica ingenieril aplicable al diseño de este tipo de obras. Los análisis de estabilidad arrojaron factores de seguridad superiores a 1,5 en condición estática y superiores a 1,1 en condición pseudoestática, lo que reduce el riesgo de fallas o derrumbes de los taludes de los depósitos de estériles.

ZODMES – Zonas de Disposición de Materiales de Excavación

Los análisis de estabilidad, tanto en condición estática como pseudoestática, fueron fundamentales para validar las soluciones de ingeniería propuestas para la conformación de las ZODMES (Zonas de Disposición de Materiales de Excavación) o depósitos. Dichos análisis permitieron concluir que la configuración geométrica propuesta es adecuada para garantizar la estabilidad de las estructuras, sin requerir soporte mecánico adicional.

Específicamente, el proyecto Gramalote contempla la implementación de diez (10) ZODMES, distribuidas estratégicamente y diseñadas para albergar un volumen total aproximado de 6.480.840 m³.

Los análisis de estabilidad determinaron que la conformación de los llenos en las zonas de depósito con una pendiente de 2H:1V permite alcanzar condiciones de estabilidad adecuadas, sin necesidad de soporte mecánico adicional. Adicionalmente, tal como se detalla en el Numeral 5.1.7 – Geotecnia, para algunos ZODMES y considerando las condiciones de fundación observadas y la verificación de suelos especiales, se recomendó la conformación de un enrocado en la pata del depósito, así como la realización de

inspecciones geológicas y geotécnicas durante la etapa de construcción, con el fin de garantizar la remoción de materiales poco competentes.

Asimismo, se recomendaron medidas constructivas complementarias, tales como sistemas de drenaje, control de compactación y protección contra la erosión, orientadas a asegurar el adecuado funcionamiento y la estabilidad de los depósitos, especialmente en caso de presencia de materiales incompetentes.

Los ZODMES fueron diseñados para un periodo de retorno sísmico de 475 años, adoptando un coeficiente de aceleración horizontal equivalente a $2/3$ del PGA base de 0,238 g. Los análisis de estabilidad realizados arrojaron factores de seguridad superiores a 1,5 en condición estática y superiores a 1,1 en condición pseudoestática, lo cual contribuye a reducir el riesgo de fallas en los taludes de los depósitos de materiales sobrantes de construcción.

g. Emergencia sanitaria

Se entiende como emergencia sanitaria a un suceso imprevisto en el cual se ve afectada la salud pública; para el caso del proyecto la emergencia sanitaria puede estar asociada a la operación del mismo como por ejemplo: la intoxicación masiva de personal del proyecto por ingesta de alimentos contaminados en el casino, por contaminación de la fuente de agua que abastece los campamentos, por dificultades para disposición de las aguas residuales producto de fallas de la planta de tratamiento o en el manejo de los residuos sólidos (bloqueo de la vía al relleno sanitario). También se puede presentar por enfermedades infecciosas o virales o epidemias que afecten al personal que labora en el proyecto.

I. Escenarios de riesgo ante emergencia sanitaria

i. Intoxicación masiva de personal que labora en el proyecto

La intoxicación del personal puede ser causada por la ingesta de alimentos contaminados en el casino del proyecto, lo cual sería de carácter masivo, llegando a afectar hasta 3.000 personas en la fase de construcción del proyecto.

Otra posible causa de una intoxicación masiva sería la contaminación de los afluentes de abastecimiento del proyecto y/o fallas en la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el proyecto se realizan los controles sobre las buenas prácticas de manufactura a proveedores de bienes y servicios de alimentación bajo el cumplimiento de las normas legales vigentes.

ii. Epidemia de enfermedades infecciosas o virales que afectan al personal que labora en el proyecto

Las causas de una enfermedad de este tipo podrían estar asociadas con la migración de personal de diferentes zonas, además de las características propias de la zona del proyecto, lo cual puede propiciar la aparición y/o proliferación de enfermedades como: dengue, hepatitis, etc. Adicional a esto, se pueden presentar enfermedades de este tipo asociadas a dificultades en la disposición de los residuos generados durante las diferentes fases del proyecto.

Cabe aclarar que en el proyecto se contemplan jornadas de vacunación y campañas para la prevención de enfermedades en el marco de los programas de medicina preventiva y del trabajo del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

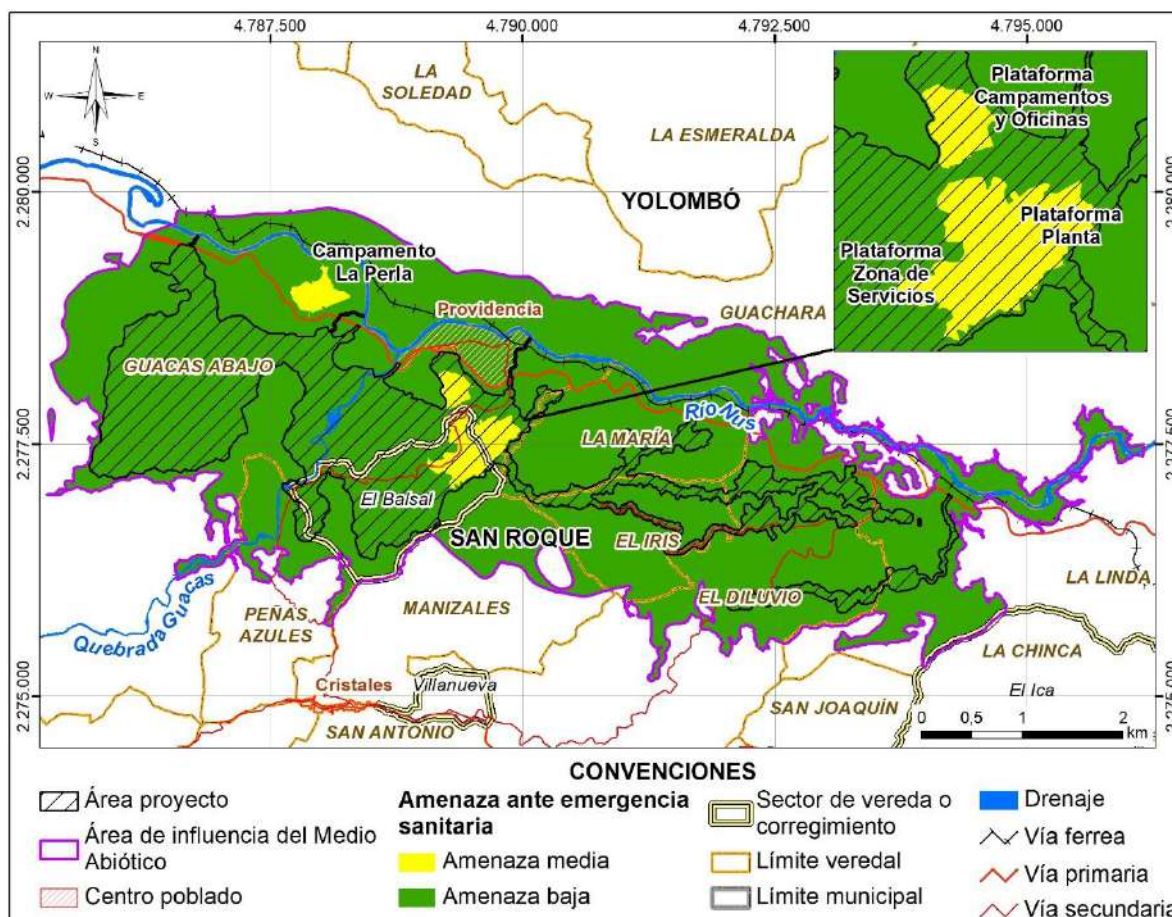


Figura 10.76 Amenaza ante emergencia sanitaria

Fuente: Integral S.A., 2025

h. Accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible)

Para el desarrollo del proyecto se requiere el transporte de diferentes sustancias clasificadas como peligrosas, además de combustible; estas sustancias se transportarán por vía terrestre hacia la mina y al interior de ella. Es importante señalar que dichas sustancias serán adquiridas a proveedores debidamente autorizados, quienes cumplirán con todos los requisitos legales aplicables para el transporte y la manipulación de sustancias químicas, siendo responsables de la gestión de emergencias asociadas al transporte por fuera de las instalaciones del proyecto Gramalote. Por su parte, Gramalote será responsable del manejo y la manipulación de estas sustancias únicamente al interior

del proyecto y, en consecuencia, el presente Plan de Gestión del Riesgo se formula considerando los escenarios de riesgo que puedan presentarse dentro de sus instalaciones.

Ante la ocurrencia de un accidente de los vehículos encargados del transporte podría generarse el derrame de dichos materiales, siendo el cianuro de sodio el de mayor riesgo, dado que podría llegar a contaminar tanto corrientes de agua como suelos.

El cianuro se utiliza en minería para extraer oro y plata del mineral, en particular mineral de baja ley y mineral que no puede tratarse fácilmente mediante procesos físicos simples como la trituración y la separación por gravedad, incluso procesos químicos como la flotación, representando así para la industria minera del oro un compuesto de gran importancia para la recuperación de los metales preciosos.

Se debe tener en cuenta:

- Equipos y/o actividades involucradas en las diferentes fases del proyecto
- Tipo de amenaza que esté involucrada (natural, antrópica, operaciones)
- Sucesos finales
- Posibles causas y frecuencias de falla
- Análisis de probabilidad de ocurrencia para cada amenaza.

I. Escenarios de riesgo ante accidentes de vehículos de carga

i. Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine un curso de agua

El cianuro de sodio será transportado al interior del proyecto por medio de vehículos de carga, los cuales movilizarán varias toneladas de este; en caso de que ocurra un accidente vehicular de magnitud tal que llegue a desencadenar el derrame de la sustancia transportada, esta podría llegar a alcanzar corrientes de agua llegando a afectar los ecosistemas acuáticos y terrestres.

ii. Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine el suelo

Al igual que en el escenario anterior, este evento está asociado a un accidente vehicular en el cual se produce el derrame del cianuro de sodio en el suelo; en este caso el principal riesgo es la contaminación del suelo y la infiltración a acuíferos, además de la exposición de personal a la sustancia sin las medidas de protección adecuadas.

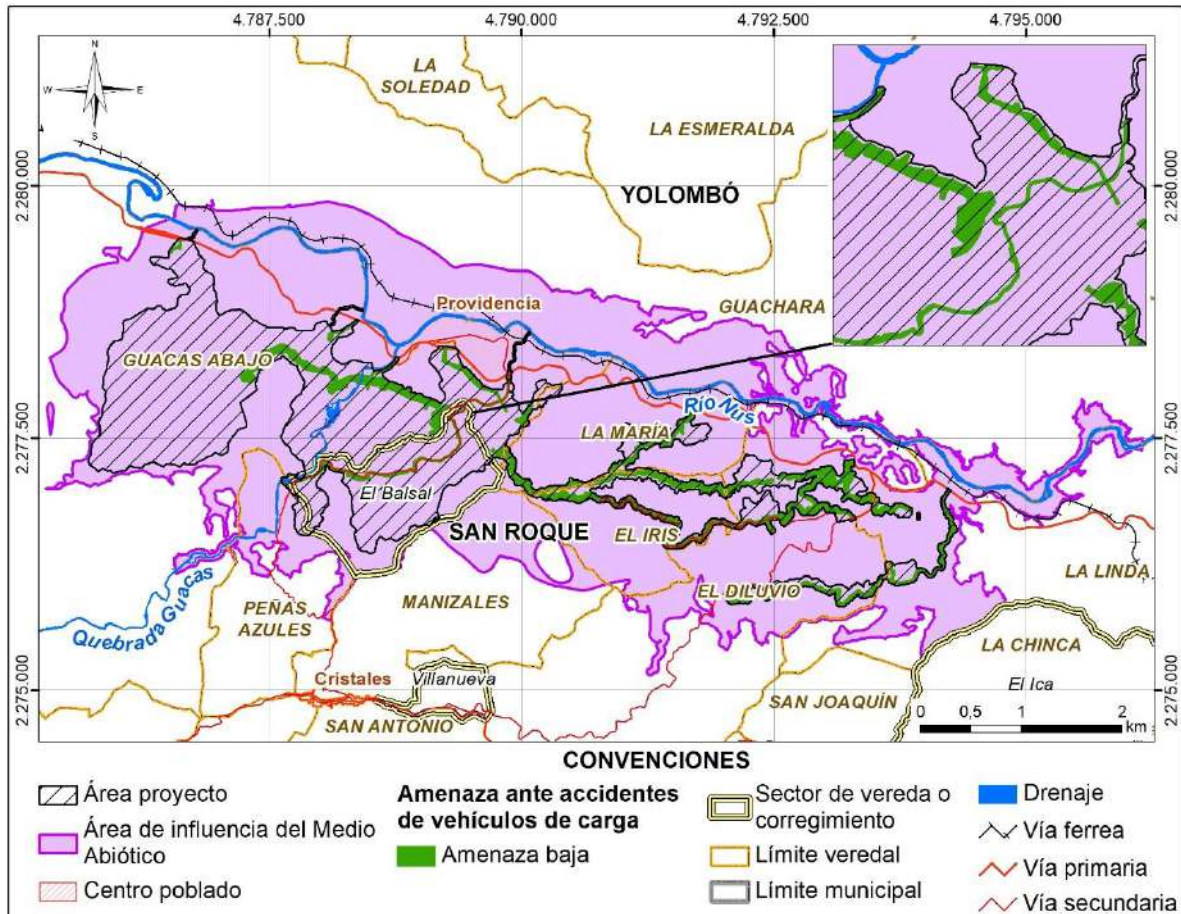


Figura 10.77 Amenaza ante accidentes de vehículos de carga

Fuente: Integral S.A., 2025

i. Escenarios Natech

Los eventos NATECH (Natural Hazards Triggered Technological Accidents) corresponden a accidentes tecnológicos desencadenados por fenómenos de origen natural. Estos eventos implican la pérdida de control sobre instalaciones, equipos o procesos industriales como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, dando lugar a la liberación de sustancias peligrosas o al desarrollo de incendios, explosiones, derrames, colapsos estructurales u otros eventos con potencial de generar afectaciones sobre las personas, el ambiente, la infraestructura y la continuidad operativa (UNGRD U. N., 2023).

A diferencia de los accidentes tecnológicos convencionales, en los escenarios NATECH el evento iniciador corresponde a una amenaza natural, como sismos, movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales o incendios forestales, que compromete la integridad física de instalaciones industriales, sistemas de almacenamiento, redes de transporte de sustancias peligrosas o infraestructura crítica. Debido a esta interacción entre amenazas naturales y tecnológicas, estos eventos pueden producir consecuencias de mayor magnitud

que aquellas asociadas de manera independiente a un desastre natural o a un accidente tecnológico.

La Figura 10.78 presenta el esquema conceptual de los escenarios NATECH, en el cual un fenómeno natural actúa como detonante de un accidente tecnológico que puede derivar en la liberación de materiales peligrosos, incendios, explosiones o derrames, generando efectos en cascada sobre los diferentes componentes del territorio.



Figura 10.78 Características de los escenarios Natech.
Fuente: UNGRD, 2023.

De acuerdo con la Actualización del análisis de accidentes tecnológicos y NATECH en Colombia (UNGRD U. N., 2025), entre los años 2011 y 2024 se registraron 2.866 emergencias tecnológicas reportadas en el Consolidado Anual de Emergencias de la UNGRD, de las cuales los eventos NATECH representaron aproximadamente el 0,2 %. Aunque su frecuencia de ocurrencia es baja, se caracterizan por presentar un elevado potencial de consecuencias debido a la combinación de los efectos propios del fenómeno natural con los derivados del accidente tecnológico. En Colombia, el 60 % de los eventos NATECH registrados fueron desencadenados por movimientos en masa, mientras que las crecientes súbitas y las inundaciones representaron el 20 % cada una, evidenciando que las amenazas hidrometeorológicas y geotécnicas constituyen los principales detonantes de este tipo de eventos.

En el Proyecto Minero Gramalote, el análisis de escenarios NATECH resulta pertinente debido a la existencia de infraestructura cuyo funcionamiento depende del manejo de combustibles, sustancias químicas, explosivos, sistemas eléctricos y obras geotécnicas de gran magnitud. Es importante señalar que el presente Plan de Gestión del Riesgo ya incorpora de manera implícita la evaluación de varios escenarios NATECH. En particular, los análisis de falla de la presa de relaves consideran detonantes asociados a eventos sísmicos e hidrometeorológicos extremos, mientras que los escenarios tecnológicos relacionados con explosiones, incendios y derrames contemplan mecanismos de pérdida de contención compatibles con la ocurrencia de fenómenos naturales. En consecuencia, el

presente numeral no desarrolla nuevos escenarios de riesgo, sino que integra y sistematiza aquellos ya evaluados bajo el enfoque de accidentes tecnológicos inducidos por amenazas naturales.

I. Metodología

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.

II. Instalaciones con potencial de generar escenarios Natech

La identificación de escenarios NATECH parte del reconocimiento de aquellas instalaciones del Proyecto Minero Gramalote que, debido a las sustancias que almacenan o procesan, a la energía que manejan o a su función dentro de la operación minera, podrían originar accidentes tecnológicos como consecuencia de la ocurrencia de una amenaza natural. Para este análisis se consideraron dos criterios principales:

Infraestructura previamente evaluada en el Plan de Gestión del Riesgo, para la cual se desarrollaron análisis de amenaza y de consecuencias asociados a fallas estructurales o funcionales ocasionadas por fenómenos naturales, particularmente en obras geotécnicas e hidráulicas.

Infraestructura analizada en el estudio de riesgos tecnológicos del proyecto, correspondiente a instalaciones que manejan sustancias peligrosas, combustibles, explosivos o sistemas eléctricos, cuyo potencial de generar incendios, explosiones o derrames fue evaluado mediante metodologías específicas de análisis de riesgos. Con base en estos criterios, se identificaron las instalaciones con potencial de generar escenarios NATECH que se presentan en la Tabla 10.78.

Tabla 10.78 Instalaciones con potencial de generar escenarios NATECH

Instalación	Función principal	Peligro tecnológico asociado	Amenazas naturales detonantes
Presa de relaves	Almacenamiento de relaves mineros	Falla estructural y liberación de relaves	Sismos, precipitaciones extremas, descargas eléctricas movimientos en masa

Instalación	Función principal	Peligro tecnológico asociado	Amenazas naturales detonantes
Sedimentador La Colorada	Retención de sedimentos y manejo hidráulico	Falla de presa y descarga no controlada	Precipitaciones extremas, avenidas torrenciales, sismos
Depósitos de estériles	Disposición de material estéril	Inestabilidad geotécnica y movimientos de masa	Sismos, lluvias intensas
Tanques de almacenamiento de combustible diésel	Abastecimiento de equipos y maquinaria	Derrames, incendios y explosiones	Sismos, inundaciones, movimientos en masa, incendios forestales, Descargas eléctricas
Planta térmica de generación eléctrica	Generación de energía para la operación	Incendio, explosión y pérdida de contención de combustibles	Sismos, inundaciones, incendios forestales, Descargas eléctricas
Subestación eléctrica	Transformación y distribución de energía	Incendio de transformadores y pérdida del suministro eléctrico	Sismos, inundaciones, incendios forestales, Descargas eléctricas
Polvorines	Almacenamiento de explosivos	Explosión accidental	Sismos, movimientos en masa, incendios forestales, descargas eléctricas
Punto de conexión y suministro de gas para generación eléctrica	Abastecimiento de combustible gaseoso	Fuga de gas, incendio o explosión	Sismos, movimientos en masa, inundaciones, descargas eléctricas
Planta de beneficio (almacenamiento de reactivos)	Procesamiento del mineral	Derrames, incendios y liberación de sustancias peligrosas	Sismos, inundaciones, movimientos en masa

Fuente: Integral S.A., 2026

III. Matriz de escenarios NATECH identificados

Como resultado de la integración entre la caracterización de amenazas naturales y socio-naturales del área de influencia y los escenarios de riesgo tecnológico previamente desarrollados en el presente Plan de Gestión del Riesgo, se identificaron aquellas cadenas de eventos en las cuales un fenómeno natural puede actuar como detonante de un accidente tecnológico.

La identificación de estos escenarios se realizó mediante el análisis de la secuencia causal de los eventos tecnológicos evaluados para la infraestructura crítica del proyecto, verificando la existencia de mecanismos de falla asociados a amenazas naturales como sismos, movimientos en masa, precipitaciones extremas, avenidas torrenciales e inundaciones. Para cada escenario se estableció la amenaza natural detonante, el escenario de riesgo previamente evaluado en el PGR, el mecanismo de falla que configura el evento NATECH, las consecuencias potenciales derivadas del accidente tecnológico y la referencia al numeral del Plan donde se desarrolla el análisis detallado y las correspondientes medidas de prevención y control.

En este sentido, la matriz presentada a continuación (Tabla 10.79) constituye un instrumento de integración que permite evidenciar la interacción entre amenazas naturales y tecnológicas, sin modificar los escenarios de riesgo previamente establecidos para el proyecto.

Tabla 10.79 Matriz de escenarios NATECH identificados para el Proyecto Minero Gramalote.

ID	Amenaza natural detonante	Escenario de riesgo previamente evaluado	Mecanismo de falla (NATECH)	Consecuencia potencial	Referencia en el PGR / Medidas existentes
N 1	Sismo	Falla de la presa de relaves por sobrepaso o pérdida de estabilidad	La sacudida sísmica puede generar deformaciones permanentes en el cuerpo de la presa, pérdida de borde libre, licuación localizada o daños en estructuras hidráulicas. Si estas condiciones coinciden con niveles elevados de agua, puede presentarse el sobrepaso y la erosión progresiva del talud aguas abajo.	Liberación de relaves y agua, inundación aguas abajo, afectación de infraestructura, cuerpos de agua y comunidades potencialmente expuestas.	Escenario de falla de presa de relaves; diseño sismorresistente, monitoreo piezométrico y geotécnico, Sistema de Alertas Tempranas (SAT), control de borde libre e inspecciones permanentes.
N 2	Precipitación extrema, creciente extraordinaria o avenida torrencial	Falla de la presa de relaves por sobrepaso	El ingreso de caudales superiores al evento de diseño o el taponamiento de estructuras de decantación pueden reducir la capacidad hidráulica de la presa, ocasionando sobrepaso y erosión del talud.	Liberación de relaves y agua, inundación aguas abajo y afectación ambiental.	Escenario de falla de presa; vertedero de excesos, monitoreo hidrometeorológico, mantenimiento e inspección de estructuras hidráulicas.
N 3	Movimiento en masa	Falla de la presa de relaves	Un deslizamiento	Liberación de relaves,	Escenario de falla de presa;

ID	Amenaza natural detonante	Escenario de riesgo previamente evaluado	Mecanismo de falla (NATECH)	Consecuencia potencial	Referencia en el PGR / Medidas existentes
			interno o externo puede ingresar al embalse, generar oleaje interno, reducir la capacidad hidráulica o afectar la estabilidad de la presa.	inundación y afectación a infraestructura y ecosistemas aguas abajo.	monitoreo geotécnico del entorno, instrumentación y vigilancia de taludes.
N 4	Sismo o movimiento en masa	Falla de la tubería de conducción de relaves	El desplazamiento diferencial del terreno, la pérdida de soporte o la deformación del trazado pueden ocasionar ruptura de la tubería o falla de sus uniones.	Derrame de relaves sobre suelos y cuerpos de agua, afectación ambiental y suspensión de la operación.	Escenario de falla de tubería de relaves; tubería de acero al carbono, monitoreo geotécnico, inspecciones periódicas, bombas de respaldo y procedimientos de contención.
N 5	Sismo, movimiento en masa, incendio forestal o inundación	Explosión no controlada en polvorines o planta de transferencia de explosivos	El fenómeno natural puede comprometer la estabilidad estructural de los contenedores de explosivos, afectar sistemas de almacenamiento o favorecer condiciones de ignición accidental.	Explosión, sobrepresión, proyección de fragmentos, afectación al personal e infraestructura.	Escenario de explosiones no controladas; almacenamiento reglamentario, barricadas, distancias de seguridad, control de acceso e inspecciones permanentes.
N 6	Sismo, inundación, movimiento en masa o avenida torrencial	Derrame de materiales peligrosos (reactivos proceso)	La pérdida de contención de tanques, recipientes o sistemas de transporte de reactivos puede producirse por deformación estructural, socavación, impacto o	Liberación de sustancias peligrosas, contaminación de suelos y aguas, riesgo para trabajadores y afectación ambiental.	Escenario de derrame de materiales peligrosos; cubetos de contención, procedimientos de emergencia, kits de derrames y monitoreo operacional.

ID	Amenaza natural detonante	Escenario de riesgo previamente evaluado	Mecanismo de falla (NATECH)	Consecuencia potencial	Referencia en el PGR / Medidas existentes
			desplazamiento de la infraestructura.		
N 7	Movimiento en masa o avenida torrencial	Colapso estructural de tanques o proceso de depósitos	La socavación de cimentaciones, la pérdida de soporte o el impacto directo de material movilizado pueden generar el colapso parcial o total de estructuras de almacenamiento.	Derrame de sustancias de proceso, daño a infraestructura y afectación operacional.	Escenario de colapso estructural; diseño estructural, inspecciones geotécnicas y mantenimiento preventivo.
N 8	Sismo, inundación, movimiento en masa o incendio forestal	Incendio o derrame del tanque de almacenamiento o combustible diésel	El evento natural puede ocasionar deformación del tanque, ruptura de tuberías, falla de válvulas, socavación de la cimentación o exposición directa al fuego, provocando pérdida de contención del combustible. En presencia de una fuente de ignición puede desarrollarse un incendio tipo <i>pool fire</i> .	Derrame de combustible, incendio, radiación térmica, contaminación de suelos y aguas, afectación a infraestructura y personal.	Escenario de incendio y derrame de combustible; cubetos de contención, sistemas contra incendio, drenajes controlados, mantenimiento preventivo, inspecciones periódicas y procedimientos de atención de derrames.
N 9	Sismo, movimiento en masa, inundación o avenida torrencial	Fuga de gas e incendio en el punto de conexión y suministro de gas para la planta de generación eléctrica	Los desplazamientos del terreno, deformaciones diferenciales, socavación o daños en soportes pueden producir la ruptura de tuberías,	Liberación de gas combustible, incendio o explosión, afectación de la planta de generación eléctrica, interrupción del suministro	Sistema de suministro de gas para generación eléctrica; diseño conforme a normativa aplicable, válvulas de corte de emergencia, detección de fugas, inspecciones y

ID	Amenaza natural detonante	Escenario de riesgo previamente evaluado	Mecanismo de falla (NATECH)	Consecuencia potencial	Referencia en el PGR / Medidas existentes
			uniones, válvulas o accesorios del sistema de suministro de gas, generando pérdida de hermeticidad. En presencia de una fuente de ignición puede desarrollarse un incendio tipo <i>jet fire</i> , un <i>flash fire</i> o, bajo condiciones de confinamiento, una explosión localizada.	de energía para la operación minera, daños a infraestructura cercana y riesgo para trabajadores.	mantenimiento preventivo, aislamiento del sistema y procedimientos de respuesta ante emergencias.

Fuente: Integral S.A., 2026

IV. Integración con la valoración del riesgo

Los escenarios NATECH identificados en la Tabla 10.79 no constituyen escenarios adicionales de riesgo respecto de aquellos ya desarrollados y valorados en el presente Plan de Gestión del Riesgo. Por el contrario, corresponden a una clasificación transversal de escenarios previamente analizados, en los cuales una amenaza natural actúa como evento iniciador de un accidente tecnológico.

En consecuencia, estos escenarios no fueron incorporados nuevamente dentro de la matriz de valoración del riesgo, evitando la duplicidad en la estimación de probabilidades y consecuencias. La valoración existente para los escenarios de falla de la presa de relaves, falla de la tubería de conducción de relaves, explosiones no controladas, derrames de materiales peligrosos, colapso estructural e incendios ya incorpora, según corresponda, la influencia de amenazas naturales o el análisis de consecuencias derivadas de la pérdida de funcionalidad de la infraestructura evaluada.

El análisis NATECH desarrollado en este numeral tiene como finalidad hacer explícita la interacción entre las amenazas naturales identificadas para el proyecto y la infraestructura tecnológica susceptible de verse afectada, facilitando la trazabilidad entre los diferentes capítulos del Plan de Gestión del Riesgo y fortaleciendo la comprensión de los efectos en cascada que pueden presentarse durante la ocurrencia de eventos complejos.

Asimismo, este enfoque permite verificar que las medidas de prevención, monitoreo, inspección y respuesta definidas para los escenarios tecnológicos existentes constituyen igualmente barreras de control frente a eventos NATECH, reforzando la capacidad del proyecto para prevenir la pérdida de contención, minimizar la probabilidad de ocurrencia de accidentes mayores y reducir sus potenciales consecuencias.

V. Análisis de concurrencia de amenazas

Además de las relaciones causales identificadas para los escenarios NATECH, el análisis permitió reconocer condiciones de concurrencia de amenazas que podrían incrementar la complejidad operacional durante la atención de una emergencia.

La concurrencia de amenazas corresponde a la ocurrencia simultánea o secuencial de uno o varios fenómenos naturales capaces de afectar de manera paralela diferentes componentes de la infraestructura crítica, generando múltiples escenarios tecnológicos que demandan recursos de respuesta en un mismo periodo de tiempo. Para el Proyecto Minero Gramalote se identificaron las siguientes condiciones de concurrencia relevantes:

- Un evento sísmico de magnitud significativa podría afectar simultáneamente la presa de relaves, la tubería de conducción de relaves, los polvorines, la planta térmica, la subestación eléctrica, el sistema de suministro de gas y la infraestructura vial de acceso, incrementando la demanda de recursos humanos, equipos y capacidad de coordinación durante la respuesta a la emergencia.
- La ocurrencia de precipitaciones extremas prolongadas puede coincidir con movimientos en masa en el entorno de las obras geotécnicas e hidráulicas, aumentando de manera simultánea la solicitud sobre la presa de relaves, los depósitos de estériles, el sedimentador La Colorada y las estructuras de drenaje, incrementando la probabilidad de pérdida de funcionalidad de dichas instalaciones.
- La afectación de las vías de acceso por movimientos en masa, avenidas torrenciales o inundaciones puede limitar el ingreso oportuno de brigadas internas, organismos externos de socorro y equipos especializados requeridos para controlar incendios, explosiones o derrames, incrementando potencialmente las consecuencias del evento tecnológico.
- La pérdida parcial o total del suministro eléctrico como consecuencia de un sismo, una inundación o un incendio forestal podría afectar simultáneamente sistemas de monitoreo, comunicaciones, instrumentación geotécnica, estaciones de bombeo y otros sistemas auxiliares necesarios para la gestión de la emergencia, reduciendo temporalmente la capacidad de seguimiento operacional.
- Un incendio forestal de gran magnitud podría comprometer simultáneamente la subestación eléctrica, la planta térmica, los tanques de almacenamiento de combustible y el punto de conexión del sistema de suministro de gas, generando condiciones para la ocurrencia de múltiples eventos tecnológicos asociados a incendios o pérdidas de contención.

La identificación de estas condiciones de concurrencia complementa el análisis individual de los escenarios NATECH y evidencia la necesidad de mantener mecanismos de coordinación operativa, redundancia de sistemas críticos, monitoreo permanente y protocolos específicos para la gestión de emergencias complejas en las cuales puedan presentarse múltiples afectaciones simultáneas.

VI. Conclusiones

El análisis desarrollado evidencia que el Proyecto Minero Gramalote incorpora de manera transversal la evaluación de escenarios NATECH mediante los estudios de amenazas naturales, los análisis de estabilidad de infraestructura geotécnica e hidráulica y la

evaluación de riesgos tecnológicos asociados a incendios, explosiones, derrames y pérdida de contención de sustancias peligrosas.

La integración realizada permitió identificar nueve escenarios representativos en los cuales la ocurrencia de una amenaza natural puede desencadenar un accidente tecnológico sobre infraestructura crítica del proyecto, incluyendo la presa de relaves, la tubería de conducción de relaves, los polvorines, los tanques de almacenamiento de combustible, la planta térmica de generación eléctrica, la subestación eléctrica, el sistema de suministro de gas y las instalaciones de almacenamiento de reactivos de proceso.

El análisis confirma que los escenarios identificados corresponden a riesgos previamente desarrollados y valorados dentro del presente Plan de Gestión del Riesgo, razón por la cual no requieren una nueva valoración cuantitativa. En este contexto, el enfoque NATECH constituye un ejercicio de integración metodológica que fortalece la trazabilidad entre los diferentes capítulos del Plan, facilita la comprensión de las interacciones entre amenazas naturales y tecnológicas y proporciona una visión sistémica de los posibles efectos en cascada derivados de eventos complejos.

Finalmente, la incorporación explícita del análisis NATECH permite consolidar la gestión preventiva sobre la infraestructura crítica del proyecto, favoreciendo la articulación entre los programas de monitoreo, mantenimiento, inspección, instrumentación y respuesta a emergencias, y fortaleciendo la capacidad de anticipación frente a eventos de baja probabilidad y alta consecuencia que puedan comprometer la seguridad de las personas, la continuidad operacional y la protección del medio ambiente.

E. Incidencia del cambio climático

El cambio climático se entiende como una transformación significativa y sostenida en los patrones climáticos del planeta, la cual puede tener su origen en procesos naturales, pero que actualmente está fuertemente influenciada por las actividades humanas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático- CMNUCC (Naciones Unidas, 1992) establece que esta alteración del clima está asociada directa o indirectamente a la intervención humana, especialmente en lo que respecta a las emisiones que modifican la composición de la atmósfera global, más allá de la variabilidad natural del sistema climático.

Por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha establecido firmemente que la actividad humana es la principal causa del actual cambio climático al aumentar las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero GEI en la atmósfera. La quema de combustibles fósiles, la deforestación y las prácticas agrícolas intensivas son algunos de los factores que contribuyen a este aumento (Nasa, 2024). Si bien los GEI desempeñan un papel central, también existen variables naturales como las variaciones en la radiación solar, los cambios orbitales de la Tierra, la actividad volcánica y los movimientos tectónicos que pueden influir en los cambios climáticos de largo plazo (Naciones Unidas, s. f.).

El cambio climático es uno de los principales desafíos ambientales, sociales y económicos a nivel mundial. Se traduce en alteraciones en los patrones climáticos predominantes, manifestándose a través del aumento de la temperatura promedio global, cambios en los patrones de precipitación, incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos

meteorológicos extremos como sequías prolongadas, huracanes, olas de calor e inundaciones.

El cambio climático global afecta los patrones de precipitación y temperatura, incluyendo a Colombia. Según (Ideam, 2024), los escenarios de cambio climático para Colombia muestran que para el año 2050 se espera un aumento de la temperatura promedio entre 1,5 °C y 2 °C, así como una alteración de los patrones de precipitación. Mientras que algunas zonas podrían enfrentar lluvias más intensas y prolongadas, otras sufrirán de sequías más severas. En el Caribe colombiano y algunas áreas del interior del país la disminución de lluvias podría agravar la escasez de agua, lo que afectaría la seguridad alimentaria y las actividades productivas. Además, se espera que aumenten la frecuencia y la intensidad de fenómenos climáticos extremos, tales como huracanes, tormentas tropicales, sequías prolongadas e inundaciones. Estos eventos podrían tener un impacto devastador en la infraestructura, los cultivos y las comunidades más vulnerables. Adicionalmente, se estima que el cambio climático tendrá un efecto directo sobre la distribución y disponibilidad del agua en el país. Las cuencas hidrográficas más importantes, como las del río Magdalena y el Cauca, podrían experimentar fluctuaciones severas en sus caudales, lo que afectaría la producción de energía hidroeléctrica, la agricultura y el abastecimiento de agua a las poblaciones urbanas y rurales. Por último, se espera que se genere una gran pérdida de biodiversidad ya que muchas especies de flora y fauna, especialmente las más vulnerables, no podrán adaptarse a las nuevas condiciones futuras de temperatura y precipitación. Esto afectará no solo la biodiversidad, sino también los servicios ecosistémicos vitales, como la polinización y la purificación del aire y agua.

La estimación de las emisiones derivadas de las actividades humanas y de la absorción realizada por los reservorios de carbono en Colombia se presenta en el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero – INGEI, contiene. Dicho inventario incluye las emisiones directas de los gases Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆) y Perfluorocarbonos (PFC) y agrupan las emisiones y absorciones en cuatro grandes grupos: i) Energía; ii) Procesos Industriales y uso de productos (IPPU, por sus siglas en inglés); iii) Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés); y iv) Residuos.

Para el Inventario Nacional, las emisiones estimadas en cada uno de los cuatro grandes grupos del IPCC, son relacionadas con los ocho sectores principales de la economía del país (Minas y energía, Industrias manufactureras, Transporte, Residencial, Comercial, Agropecuario, Forestal y Saneamiento).

Según el INGEI (Ideam, 2024) Colombia generó un total de emisiones netas de 280,1 Mt CO₂eq a 2021. De este total, un 39,43% de las emisiones corresponden al sector LULUCF (Silvicultura, uso y cambio de uso de la tierra, por sus siglas en inglés), el 30,24% al sector Energía y el 19,13% al sector agricultura. El restante 11,20% corresponde a los sectores residuos y IPPU (Procesos industriales y uso de productos).

Las subcategorías que aportan en mayor medida a las emisiones totales del año 2021 fueron tierras forestales que permanecen como tierras forestales (21,98%), Ganado (14,00%), Transporte (13,92%), Tierras convertidas en pastizales (13,27%). En el sector de residuos, la mayor participación en las emisiones se obtiene con sitios de eliminación de

residuos gestionados y tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales (Ideam, 2024).

Según Climate Watch Data (2025), a nivel mundial Colombia está en el puesto 33 de emisiones GEI, aportando el 0,56% del total emitido en el mundo. Si bien esto indica que sus emisiones pueden ser reducidas comparado con los grandes emisores, el cambio climático implica grandes riesgos para el país ya que Colombia es un país altamente vulnerable ante los efectos del cambio climático y las proyecciones climáticas realizadas por el IDEAM indican que esta vulnerabilidad se irá profundizando.

A nivel departamental, el departamento de Antioquia ocupa el primer lugar en emisiones GEI a nivel nacional, el Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero para Colombia en su reporte de GEI en el territorio colombiano entre los años 1990 a 2012 determina que las emisiones del departamento fueron de 22,94 Mton CO₂eq. Sin embargo, Antioquia también es el departamento con las mayores absorciones de GEI a nivel nacional, con -9.99 CO₂eq.

Considerando tanto las emisiones como las absorciones, Antioquia se ubica en el tercer lugar en emisiones netas de GEI a nivel nacional, con 12,95 MCO₂eq (IDEAM et al., 2016). De acuerdo con el Plan Integral de Cambio Climático de Antioquia, los principales sectores económicos que contribuyen a las emisiones de GEI en Antioquia son el agropecuario (26,6% o 26,65%), el forestal (23% o 23,3%) y la industria manufacturera (22,9%) (FAO & Gobernación de Antioquia., 2018).

De acuerdo con el informe de huella de carbono del año 2023 (Gramalote Colombia Limited, 2023), Específicamente para el proyecto en el año 2023, la huella de carbono del proyecto minero Gramalote, ubicado en San Roque, Antioquia, alcanzó 615,77 tCO₂e, con una marcada predominancia de las emisiones indirectas, que representaron la mayor contribución: 557,07 tCO₂e asociadas principalmente al transporte y productos utilizados por la organización, seguidas por 38,33 tCO₂e derivadas del consumo de energía eléctrica. Las emisiones directas tuvieron una participación menor, con 20,37 tCO₂e, debido a que no ha iniciado actividades productivas. Esta tendencia refleja que el impacto más significativo proviene de la cadena de suministro y servicios externos, lo que plantea la necesidad de fortalecer estrategias de eficiencia energética, gestión de transporte y economía circular para reducir la huella en las etapas futuras de construcción y operación.

Es importante destacar que entre 2018 y 2023, la tendencia histórica de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del proyecto Gramalote muestra una variación marcada por la naturaleza de sus actividades. Durante los años 2020 y 2021 se registraron los mayores niveles de emisiones, principalmente por las campañas de exploración minera, alcanzando valores superiores a 600 tCO₂e en 2021. A partir de 2022, las emisiones disminuyeron significativamente debido a la suspensión de estas actividades, llegando en 2023 a 615,77 tCO₂e, con predominio de emisiones indirectas asociadas a transporte y cadena de suministro.

A nivel de riesgo climático, Antioquia es un departamento con alto riesgo. Simulaciones para escenarios futuros (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) respecto al periodo de referencia 1976-2005 muestran un aumento general de la temperatura promedio en todo el departamento para finales del siglo XXI (2071-2100), con aumentos máximos cercanos a los 3°C y mínimos de 0.5°C (Gobernación de Antioquia., 2021). En la Figura 10.79 se evidencia que se espera un aumento de temperatura de 0,81 a 1,0°C en la zona de

influencia de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

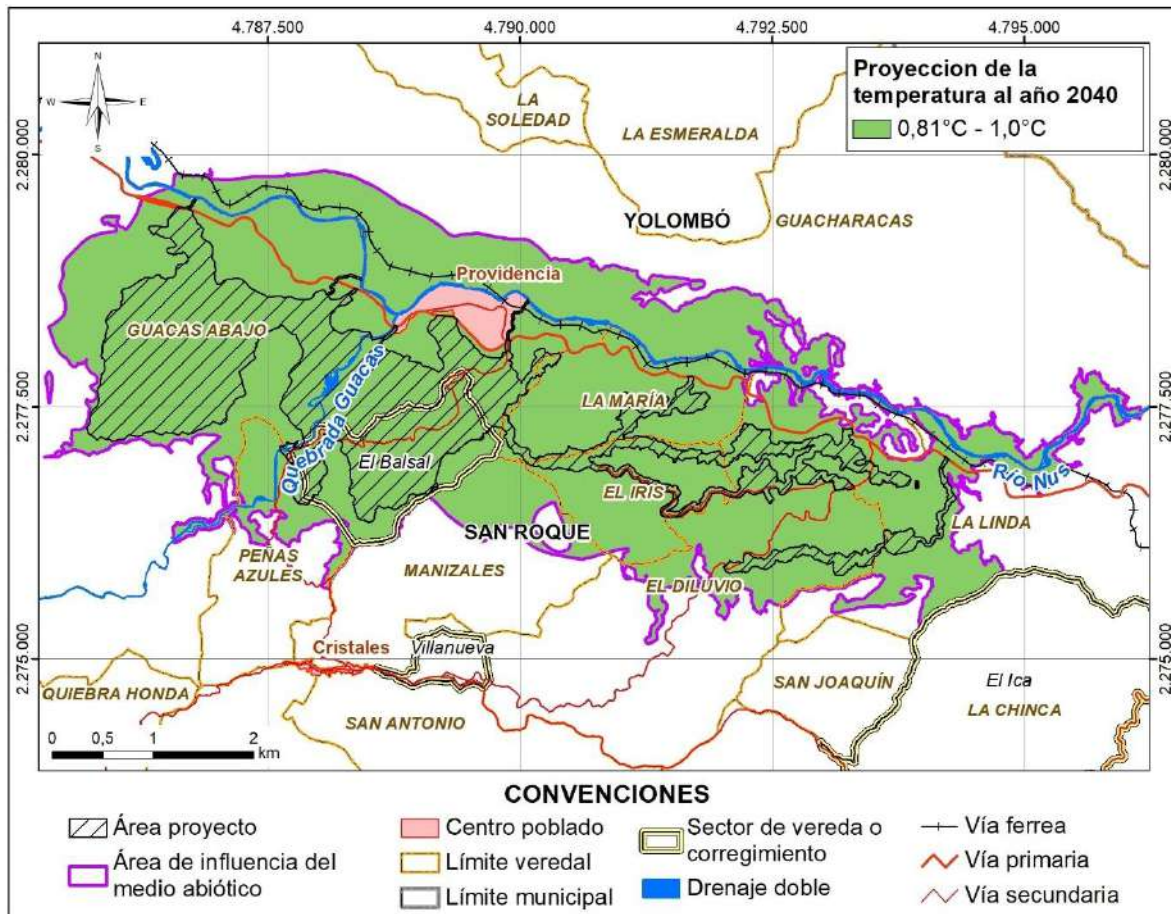


Figura 10.79 Proyección de temperatura a 2040 para el municipio de San Roque

Fuente: Integral S.A., 2025. Adaptado de IDEAM et al. 2017

En relación con las precipitaciones, el porcentaje de precipitación en promedio sobre todo el territorio del departamento de Antioquia podría aumentar en el corto plazo (2011-2040) en 4,9%, y para finales de siglo las precipitaciones podrían aumentar en un 9.3% con respecto al valor actual (Gobernación de Antioquia., 2021). En la Figura 10.80 se evidencia que se espera un aumento de la precipitación del -9 al 10% en la zona de influencia de la Modificación de la Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

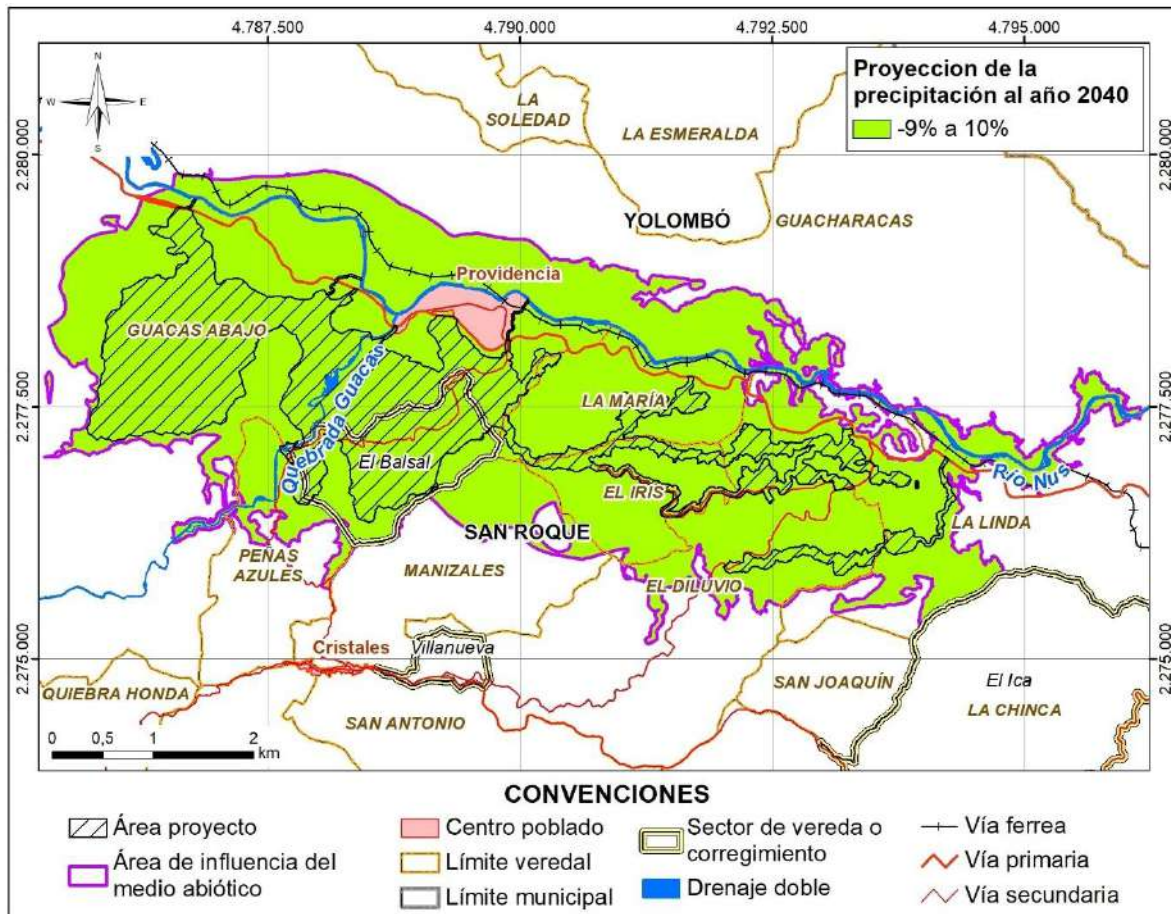


Figura 10.80 Proyección de precipitación a 2040 para el municipio de San Roque

Fuente: Integral S.A., 2025. Adaptado de IDEAM et al. 2017

La amenaza por cambio climático en el departamento de Antioquia se clasifica entre baja y muy baja para las dimensiones evaluadas en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático: seguridad alimentaria, recurso hídrico, biodiversidad, salud, hábitat humano e infraestructura (IDEAM et al., 2017). Sin embargo, la subregión Nordeste donde se localiza el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote presenta una amenaza muy alta en materia de seguridad alimentaria, debido a los cambios proyectados en precipitación y temperatura (FAO & Gobernación de Antioquia., 2018).

En relación con la vulnerabilidad, el PIGCCT de Antioquia destaca que la subregión Nordeste muestra condiciones sociales críticas que aumentan la vulnerabilidad: más del 40% de los hogares en pobreza, un índice de Necesidades Básicas Insatisfechas superior al 42%, baja escolaridad y dependencia de actividades sensibles al clima como agricultura y minería. A esto se suma la deforestación acelerada y la fragmentación de ecosistemas, que reducen la capacidad de regulación hídrica y la resiliencia del territorio. De esta manera, el riesgo ante el cambio climático en San Roque se clasifica como alto, dado que combina exposición a eventos extremos, déficit hídrico y baja capacidad adaptativa institucional y comunitaria.

En síntesis, el cambio climático incide de manera significativa en la gestión del riesgo en la subregión Nordeste de Antioquia, donde se encuentra el municipio de San Roque. Este territorio enfrenta amenazas crecientes como la deforestación acelerada, que reduce la capacidad de regulación hídrica y aumenta la exposición a deslizamientos e inundaciones. A ello se suma un déficit hídrico crítico, pues la demanda supera ampliamente la oferta, lo que compromete el abastecimiento de agua y la generación hidroeléctrica. Los escenarios climáticos proyectan incrementos en la frecuencia e intensidad de eventos extremos inundaciones, avenidas torrenciales y sequías que afectan infraestructura, viviendas y actividades productivas. Además, los páramos y bosques altoandinos, esenciales para la provisión de agua y la estabilidad ecológica, se encuentran amenazados por cambios en temperatura y precipitación, mientras que la alta vulnerabilidad social y económica incrementa la exposición de la población.

En el caso específico de San Roque, se prevén impactos directos sobre la productividad agrícola, especialmente en cultivos como café, caña panelera y frutales, generando incertidumbre en la seguridad alimentaria y mayores costos por adaptación. El riesgo de deslizamientos e inundaciones se intensificará por lluvias más intensas, afectando vías, viviendas y servicios básicos, mientras que la pérdida de cobertura boscosa y la fragmentación de ecosistemas disminuirán la resiliencia del territorio. También se espera un incremento en enfermedades transmitidas por vectores, como dengue y zika, debido a condiciones climáticas más favorables.

De acuerdo con el Informe de Resultados de la Vulnerabilidad y el Riesgo Climático de Gramalote Colombia Limited (Cornare, 2025), el cambio climático impacta las operaciones y activos de Gramalote principalmente por su alta exposición a amenazas físicas en un territorio hidroclimáticamente sensible. El análisis evidencia que los riesgos más relevantes se concentran en desastres asociados a inundaciones y deslizamientos, así como en la vulnerabilidad de la infraestructura crítica, que tiende a incrementarse en escenarios futuros. Aunque el índice global de amenaza física se mantiene bajo, la persistencia del riesgo en estas dimensiones, sumada a una capacidad adaptativa limitada, convierte la adaptación en una prioridad estratégica para garantizar la continuidad operativa. Por otro lado, los riesgos de transición hacia una economía baja en carbono son actualmente muy bajos, pero se anticipa que las presiones normativas y tecnológicas aumentarán en el mediano plazo, lo que exige preparación para cumplir con regulaciones, mejorar eficiencia energética y adoptar tecnologías limpias.

F. Identificación de elementos vulnerables

a. Elementos expuestos del componente personas

Los elementos expuestos del componente personas corresponden a todos aquellos relacionados con la presencia de población ubicada en las diferentes veredas, sectores y centros poblados que, debido a su localización, pueden verse afectados por la manifestación de las amenazas identificadas en el presente Plan de Gestión del Riesgo.

Teniendo en cuenta que el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se localiza en los municipios de San Roque y Yolombó, a continuación, se describe la estructura de la población de estos dos municipios.

De acuerdo con la proyección de población del DANE, en el año 2025 el municipio de San Roque cuenta con 23.105 habitantes, la distribución por sexo indica que el 49,5% son

mujeres (11.437) y el 50,5% son hombres (11.668). Para el municipio de Yolombó, en el año 2025 se reporta una población de 24.178, con una leve diferencia entre hombres (11.285) y mujeres (11.893), representado por un 50,8% y un 49,2% respectivamente.

Ahora bien, respecto a la distribución por zona, el 36,8% de la población de San Roque se ubica en la zona urbana (8.493 personas) lo que expresa un margen menor con respecto a la zona rural que representa el 63,2% (14.612 personas). La distribución para el municipio de Yolombó conserva una similitud, puesto la población que se concentra en el área urbana es un 35,1% (8.482 personas) frente al 64,2% que reside en el área rural (15.696 personas). (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), 2018).

La desagregación por edades y sexo en grupos quinquenales según las proyecciones de población al año 2025 para los municipios de San Roque y Yolombó se ilustra en la Figura 10.81. Se aprecia que la pirámide poblacional para el municipio de San Roque es tipo campana, con una base que presenta disminución para la población infantil (menores de cinco años) indicando tendencia a la disminución en la tasa de natalidad, y retraimiento en los grupos de edad juvenil (15 a 29 años) coincidiendo con la etapa de educación post básica, preparatoria para la etapa laboral, lo cual puede indicar procesos migratorios en búsqueda de oportunidades de capacitación e ingreso al ámbito productivo.

Resaltan los grupos poblacionales de adultos entre 30 y 44 años y los niños, niñas y adolescentes entre 5 y 14 años como los rangos con mayor representatividad en la pirámide, conformando el primer rango disponibilidad de fuerza laboral y el segundo, población escolar en crecimiento como oportunidad de desarrollo territorial futuro derivando una alta presión por los servicios educativos de buena calidad y adecuadas ofertas laborales.

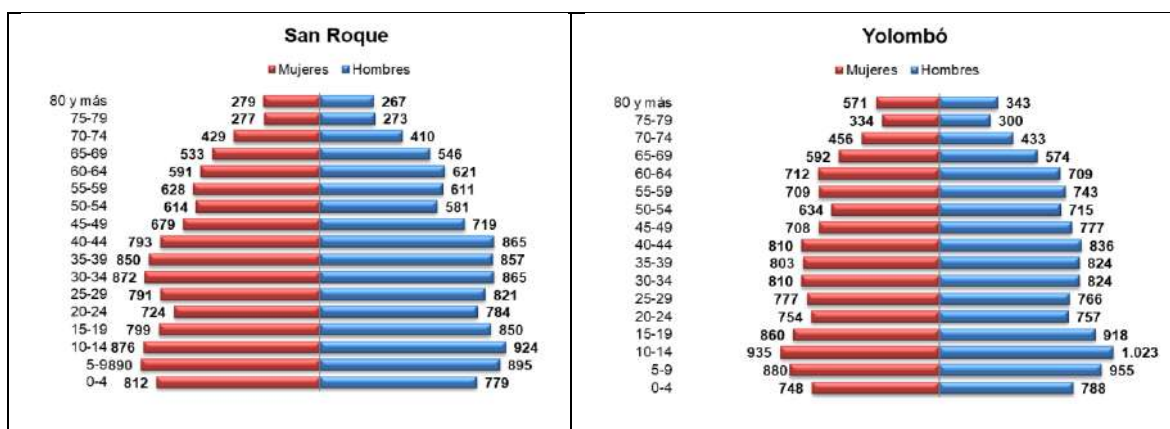


Figura 10.81 Pirámide poblacional, 2025

Fuente: Integral S.A., 2025, con información DANE CNPV 2018 con proyección a 2025

Para el municipio de Yolombó se aprecia en la Figura 10.81 una pirámide poblacional tipo campana, en la que se denota un índice de natalidad que disminuye asociado al comportamiento del primer quinquenio (menores de 5 años).

Posteriormente, se observa una expansión en los dos quinquenios siguientes, agrupando la población infantil, adolescentes y parte de los jóvenes, que a su vez conforman la población en edad escolar; para luego retraerse en la población joven que inicia su vida

productiva y que tiene a la búsqueda de oportunidades educativas y laborales en otros lugares, con un comportamiento de crecimiento leve para ambos sexos hasta los 44 años. En general, muestra un decrecimiento tanto para hombres como mujeres entre los 45 y 54 años, donde se consideran productivos laboralmente. En la cúspide, se observa una población envejecida, especialmente en el caso de las mujeres.

Específicamente, el área de influencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se localiza en las unidades territoriales listadas en la columna Localidad de la Tabla 10.80, en la cual también se presenta la población total por cada unidad territorial. En dicha tabla se caracterizan las unidades territoriales del área de influencia en términos de población total, considerando además las proporciones correspondientes a cada sexo. Se identifica que la localidad con mayor concentración poblacional es el centro poblado del corregimiento de Providencia, seguida por la vereda El Diluvio y, posteriormente, por el centro poblado del corregimiento de Cristales, todas ubicadas en jurisdicción del municipio de San Roque.

Por su parte, las localidades con menor número de habitantes corresponden a la vereda La Linda, en el municipio de San Roque, y a la vereda Guacharacas, en el municipio de Yolombó.

Tabla 10.80 Población total por unidad territorial

Municipio	Localidad	Distribución por sexo				
		Hombres		Mujeres		Total
		#	%	#	%	
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	277	49,1%	287	50,9%	564
	Centro poblado del Cgto. Providencia	1.404	51,0%	1.348	49,0%	2.752
	El Diluvio	275	53,1%	243	46,9%	518
	El Iris	71	54,2%	60	45,8%	131
	Guacas Abajo	49	53,8%	42	46,2%	91
	Guacas Arriba	62	53,0%	55	47,0%	117
	La Bella	41	56,2%	32	43,8%	73
	La Linda	11	73,3%	4	26,7%	15
	La María	138	52,5%	125	47,5%	263
	La Trinidad	139	48,9%	145	51,1%	284
	Manizales	67	55,4%	54	44,6%	121
	Peñas Azules	129	59,4%	88	40,6%	217
	San Joaquín	123	53,5%	107	46,5%	230
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	68	61,8%	42	38,2%	110
	Sector El ICA/AGROSAVIA de la vereda La Chinca	--	--	--	--	52
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	131	47,3%	146	52,7%	277
Yolombó	Guacharacas	31	57,4%	23	42,6%	54
Total		3.016	51,8%	2.801	48,2%	5.869

Nota 1: La información de las veredas El Iris, La María y El Balsal es obtenida de las unidades sociales residentes (Reasentamiento).

Nota 2: Para el reporte de población de los centros poblados de Providencia y Cristales, y las veredas Peñas Azules y Villanueva, se utilizó información estimada a partir del reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021 y Gramalote 2025

Esta población ocupa el territorio a partir de un modelo predominantemente rural. Inclusive, los centros poblados de los corregimientos de Providencia y Cristales expresan un vínculo estrecho con la población y territorios rurales que les rodean. Sobre este panorama, se configura un promedio de densidad poblacional de 58,89 habitantes/km²; como es de esperar, esta densidad se jalona especialmente por la reportada en los centros poblados, uno de ellos (Cristales), elevado hasta los 11.280 habitantes/km². Mientras tanto, para las demás unidades territoriales, se destaca el Sector Villanueva del corregimiento Cristales, con una densidad poblacional de 769,44 habitantes/km².

Tabla 10.81 Número de habitantes por kilómetro cuadrado en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Área en Km ²	N. de habitantes	Densidad Poblacional (hab./km ²)
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	0,05	564	11.280,00
	Centro poblado del Cgto. Providencia	0,41	2.752	6.712,20
	El Diluvio	7,49	518	69,16
	El Iris	1,58	131	82,91
	Guacas Abajo	18,96	91	4,80
	Guacas Arriba	5,76	117	20,31
	La Bella	4,86	73	15,02
	La Linda	6,69	15	2,24
	La María	2,13	263	123,47
	La Trinidad	14,64	284	19,40
	Manizales	3,69	121	32,79
	Peñas Azules	2,31	217	93,94
	San Joaquín	1,48	230	154,92
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	1,63	110	67,53
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	0,36	277	769,44
Yolombó	Guacharacas	26,73	54	2,02
Total		98,77	5.817	58,89

Nota: para los centros poblados de Providencia, Cristales, y las veredas Peñas Azules y Villanueva, se utilizó información proyectada a partir del ASIS 2024 del municipio de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021 y Gramalote 2025 y Cartobase

En la Figura 10.82 se muestran las unidades territoriales presentes en el área de influencia abiótica.

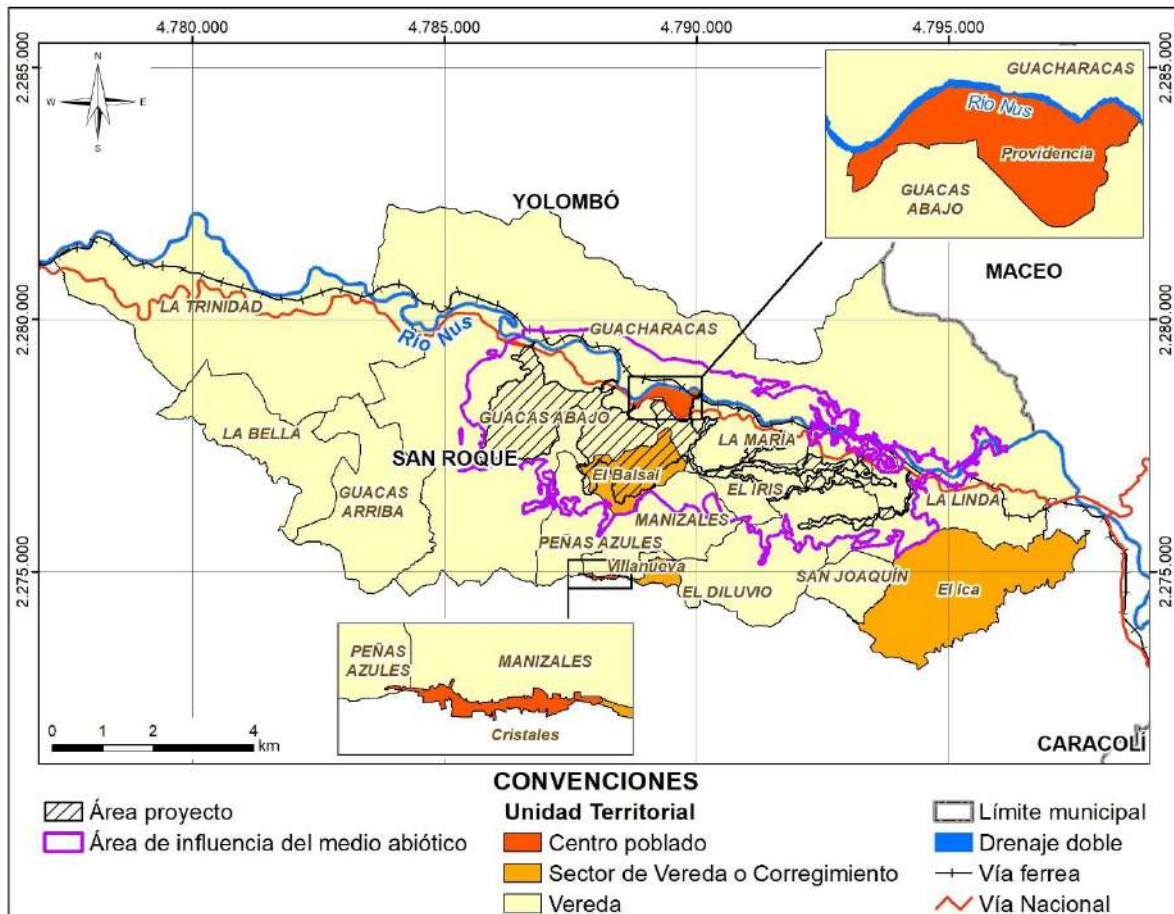


Figura 10.82 Unidades territoriales del Al abiótica

Fuente: Integral S.A., 2025

Para la definición específica de los elementos expuestos del componente personas, se emplean de manera cartográfica las coberturas de tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo, dado que estas concentran la mayor densidad de población potencialmente expuesta a las amenazas identificadas. Dichas coberturas permiten representar de forma adecuada las áreas con presencia permanente de población y mayor interacción con el territorio.

Adicionalmente, considerando la población expuesta de manera directa asociada al desarrollo del proyecto, se incluyen las áreas correspondientes al campamento La Perla y a la plataforma de campamento y oficinas, donde se localiza el personal del proyecto de forma continua o temporal. Estas áreas se incorporan como elementos expuestos relevantes, tal como se ilustra en la Figura 10.83, debido a la concentración de personas y a su cercanía con las actividades operativas del proyecto.

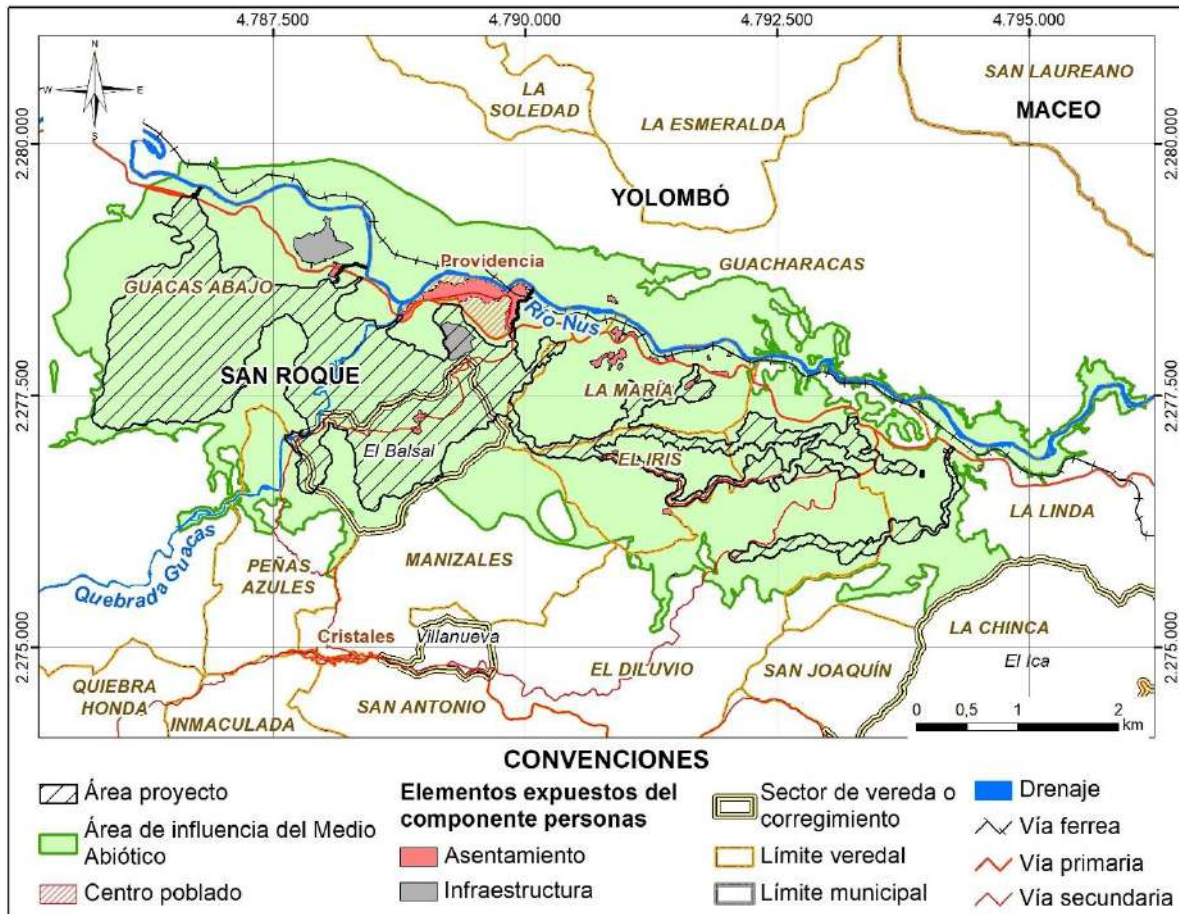


Figura 10.83 Elementos expuestos del componente personas

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Elementos expuestos del componente ambiental

Los elementos ambientales dentro del área de influencia del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se identificaron mediante un análisis cartográfico complementado con observaciones de campo. Este proceso permitió determinar los componentes de los medios biótico y abiótico, incluyendo las coberturas de la tierra, la fauna terrestre, los cuerpos de agua superficiales y las áreas de alta sensibilidad o importancia ambiental. Estos elementos son los más susceptibles a verse afectados directamente por los impactos derivados de las actividades propias del proyecto. Dentro de estos se incluye los bosques de galería, las rondas hídricas de los drenajes, los humedales y aquellos polígonos de la Reserva Forestal Protector Regional La Montaña.

- Bosque de galería y bosque denso alto

Los bosques de galería son ecosistemas conformados por vegetación arbórea que se desarrolla a lo largo de las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Estas coberturas vegetales están estrechamente asociadas a los cuerpos de agua, lo que limita su distribución espacial al borde de ríos, quebradas y drenajes naturales. Su función

ambiental es fundamental, dado que actúan como filtros naturales que reducen la erosión del suelo, estabilizan las riberas, mejoran la calidad del agua y sirven como corredores biológicos para la fauna terrestre (Miniambiente, 2021). En el área de influencia abiótica del proyecto, se ha identificado la presencia de este tipo de cobertura vegetal en los márgenes los principales drenajes, donde su relevancia ecológica es destacable. Estos bosques no solo aportan diversidad biológica, sino que también desempeñan la función de regulación hídrica, la mitigación de inundaciones y la provisión de hábitats para especies de flora y fauna, algunas de las cuales podrían ser endémicas o estar en riesgo. Por su parte, el bosque denso alto se encuentra en los límites con la reserva forestal La Montaña.

- Rondas Hídricas

En el área de influencia abiótica del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote para la Modificación de la Licencia Ambiental presenta como drenajes principales aquellos que discurren sobre las cuencas del mismo nombre: el Río Nus, la Quebrada Guacas, la Quebrada La Palestina, Quebrada La María, Quebrada La Colorada, Quebrada San Antonio, Quebrada El Topacio, Quebrada El Banco, entre otros drenajes cuyos cuerpos son elementos expuestos del componente ambiental al igual que sus respectivas rondas hídricas. Las rondas hídricas por su desempeño una función de conservación del agua y los ecosistemas, permitiendo el flujo natural de ríos y quebradas, protegiendo la biodiversidad, regulando el clima y mitigando riesgos como inundaciones y deslizamientos. Funcionan como corredores ecológicos que evitan la invasión de áreas sensibles y aseguran la provisión de agua

- Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña

la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, la cual cuenta con una extensión total de 1.914,46 ha. Esta reserva tiene como objetivo 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. Esta reserva es un área de gran importancia ecosistémica, ya que hace parte de los últimos refugios de flora y fauna en la cuenca del río Nus, en el Orobioma bajo de los Andes (CORNARE, 2014).

- Humedales

Los humedales constituyen un papel en el mantenimiento del sistema ambiental, puesto que desempeñan funciones de control de inundaciones, recarga y descarga de acuíferos, control de la erosión, retención de sedimentos y de nutrientes, exportación de biomasa, estabilización de microclimas, transporte por agua. Dentro del área de influencia abiótica se localizan una fracción del ecosistema de humedales de nivel uno (1) y nivel dos (2).

En la Figura 10.84 se ilustra la localización de los elementos expuestos del componente ambiental para el área de probable afectación de la modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto Gramalote.

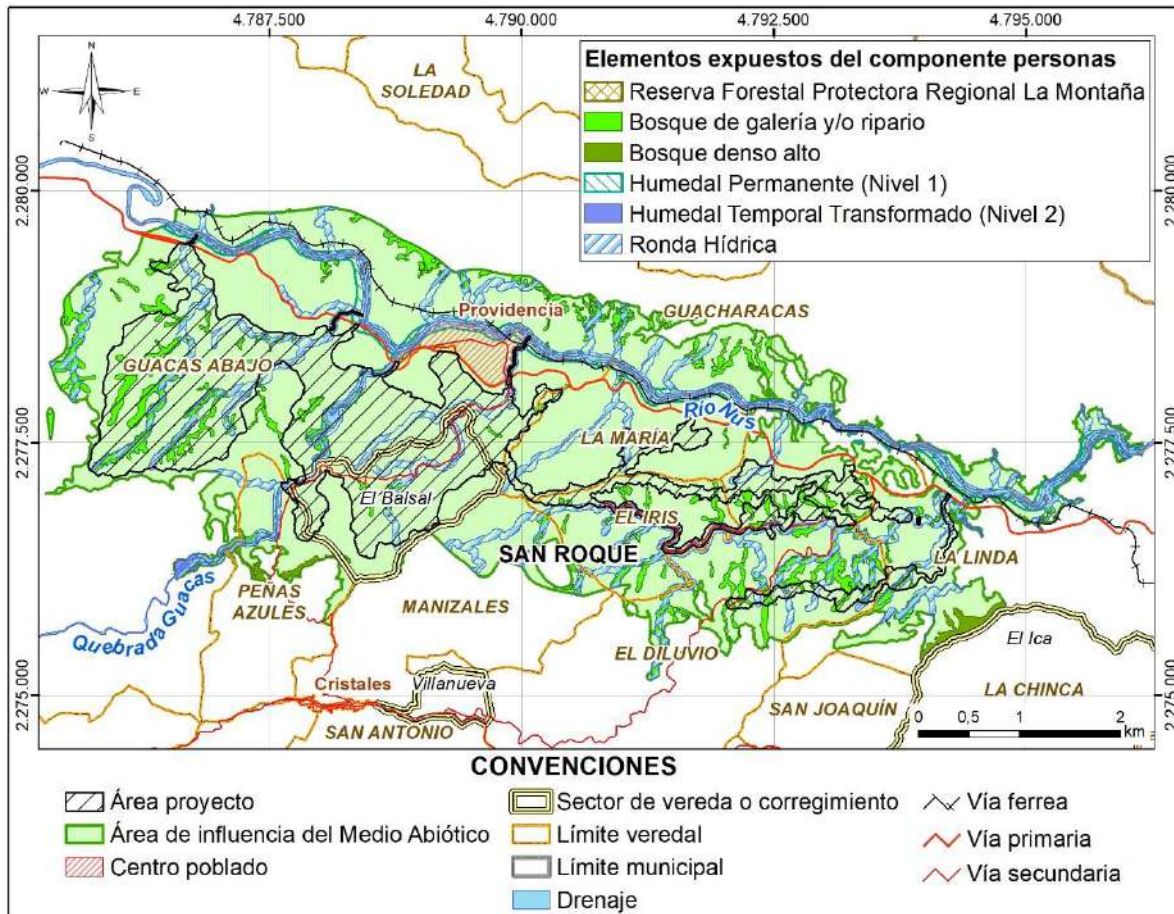


Figura 10.84 Elementos expuestos del componente ambiental

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Elementos expuestos del componente socio económico

Las unidades territoriales asociadas al área de influencia abiótica para la modificación de la licencia ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se caracterizan por presentar una economía con una fuerte predominancia del sector primario, complementada por actividades de transformación, servicios y generación de energía. La minería de oro a baja escala constituye una de las principales actividades económicas, impulsada por procesos de formalización apoyados por Gramalote, con presencia de 21 sociedades mineras distribuidas en centros poblados y veredas como Cristales, Providencia, El Diluvio, La María, Manizales, Peñas Azules y Guacas Abajo.

El sector secundario está representado principalmente por la agroindustria panelera, mediante trapiches ubicados en varias veredas, donde se transforma la caña de azúcar en panela. Esta actividad configura una cadena productiva local que involucra cultivo, transporte, molienda, transformación y comercialización, generando ingresos familiares y empleo rural. De manera complementaria, se identifican iniciativas de transformación

artesanal como la elaboración de chocolate de mesa y la producción y comercialización de panela a escala agroindustrial en San Joaquín.

Adicionalmente, en el territorio operan dos centrales hidroeléctricas a filo de agua La Rebusca y La Cascada que aprovechan el recurso hídrico de la quebrada Guacas, aportando a la generación energética regional.

El sector terciario es incipiente y se concentra en comercio básico y prestación de servicios locales, como tiendas, mecateaderos, hospedajes rurales y pequeños establecimientos recreativos, principalmente en Cristales, Providencia, La María y La Trinidad. Asimismo, se comercializan a pequeña escala productos agropecuarios como yuca, plátano, cacao, café, ganado y especies menores.

Finalmente, las actividades agrícolas y ganaderas se desarrollan con baja tecnificación, orientadas al autoconsumo y mercados locales, y reciben apoyo institucional a través de asistencia técnica del SENA, Agrosavia, entidades municipales y el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, consolidando un sistema productivo rural centrado en la minería, la agricultura y la transformación panelera.

I. Acueducto

En los centros poblados predomina el acceso a través de acueducto (si bien el mismo no es universal); pero en las localidades rurales se marca como tendencia el aprovisionamiento a través de conexiones directas a fuentes hídricas. Respecto a este último escenario, el caso particular es el sector Villanueva, que por su ubicación se beneficia por extensión del acueducto de Cristales (ver Tabla 10.82).

Tabla 10.82 Aprovisionamiento de agua en los hogares de las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Acueducto público, comunal o veredal	Agua de pozo profundo	Agua de aljibe, jagüey, lluvia	Río, quebrada, manantial, nacimiento	Pila pública, carrotanque y aguatero	Donación	Total de viviendas
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	185	0	2	6	0	9	202
	Centro poblado del Cgto. Providencia	655	4	4	54	0	67	784
	El Diluvio	13	1	3	130	0	3	150
	El Iris	0	0	5	40	0	0	45
	Guacas Abajo	0	0	0	24	0	0	24
	Guacas Arriba	1	1	0	31	0	1	34
	La Bella	0	1	1	23	0	4	29
	La Linda	0	0	0	5	0	0	5
	La María	1	1	4	93	0	0	99
	La Trinidad	4	1	1	56	1	5	68
	Manizales	3	1	0	25	0	0	29
	Peñas Azules	0	0	0	51	0	0	51
	San Joaquín	1	0	0	52	0	2	55

Municipio	Localidad	Acueducto público, comunal o veredal	Agua de pozo profundo	Agua de aljibe, jagüey, lluvia	Río, quebrada, manantial, nacimiento	Pila pública, carrotanque y aguatero	Donación	Total de viviendas
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	0	0	0	46	0	0	46
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	65	0	3	12	0	0	80
Yolombó	Guacharacas	9	0	0	9	0	0	18
Total		937	10	23	657	1	91	1.719

Nota: CP Cristales, CP Providencia, vereda Villanueva y sector Villanueva se proyectaron triangulando información del SISBÉN con el reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021

Este aprovisionamiento tiene una expresión diferenciada por cada localidad en el área de influencia. En los centros poblados se establecen sistemas de acueducto propiamente concesionados por la autoridad ambiental, con capacidades estimadas y bajo la administración de una Junta de Acueducto o bien una Asociación de Usuarios que se presenta como ente concesionario y regula a los usuarios. Para Providencia, resalta la existencia de dos sistemas acondicionados bajo esta modalidad: La Plata y La Cascada (es bastante común que los usuarios se suscriban a ambos). Mientras tanto, para el caso de Cristales se trata de un sistema con una amplia capacidad de usuarios, cuyo servicio irradia a localidades vecinas, como Villanueva.

II. Alcantarillado y disposición de excretas

Para lo que corresponde a la disposición de aguas negras, se encontró que en los centros poblados predomina la disposición a través de sistemas de alcantarillado, si bien en Providencia se observa un rezago considerable de unas 241 viviendas (lo que corresponde al 31% del total de los hogares en esta localidad).

Por demás, en las localidades rurales es predominante la disposición directa a fuentes hídricas o bien a cielo abierto, que se conduce a partir de inodoros sin conexión, letrinas o bajamar. Caso particular el de la vereda El Diluvio, donde se reporta que 21 de sus 150 casas cuenta con conexión a pozo séptico, mientras en contraste para ninguna de las otras localidades este tipo de conexión llega a las dos cifras (ver Tabla 10.83).

Tabla 10.83 Acceso al servicio de alcantarillado y otras formas de disposición en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Servicio de alcantarillado	Inodoro conectado a pozo séptico	Inodoro sin conexión y letrina, bajamar	No tiene	Total viviendas
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	158	7	35	2	202

Municipio	Localidad	Servicio de alcantarillado	Inodoro conectado a pozo séptico	Inodoro sin conexión y letrina, bajamar	No tiene	Total viviendas
	Centro poblado del Cgto. Providencia	535	6	241	2	784
	El Diluvio	5	21	119	5	150
	El Iris	0	2	36	7	45
	Guacas Abajo	0	0	22	2	24
	Guacas Arriba	1	0	33	0	34
	La Bella	0	0	29	0	29
	La Linda	0	1	4	0	5
	La María	0	0	99	0	99
	La Trinidad	1	5	61	1	68
	Manizales	1	7	16	5	29
	Peñas Azules	0	6	41	4	51
	San Joaquín	0	4	49	2	55
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	0	0	46	0	46
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	3	9	68	0	80
Yolombó	Guacharacas	0	0	18	0	18
Total		704	68	917	30	1.719

Nota: CP Cristales, CP Providencia, vereda Villanueva y sector Villanueva se proyectaron triangulando información del SISBÉN con el reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021

III. Energía

El acceso a energía sí corresponde a un servicio con amplia cobertura en el área de influencia, provisto de forma exclusiva por EPM. Sin embargo, se reporta un rezago considerable en el centro poblado de Providencia, donde se estima que 123 viviendas carecen de conexión (cerca del 16% del total), lo mismo que en la vereda El Diluvio, donde el 15% de los hogares carecen de conexión. Por demás, se observa una cobertura adecuada, y una buena calidad en la prestación del servicio toda vez que se presenta un flujo constante, los siete días de la semana y en el transcurso de todo el día (ver Tabla 10.84).

Tabla 10.84 Acceso al servicio de energía en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Viviendas con servicio de energía eléctrica	Viviendas sin energía eléctrica	Permanencia del servicio en horas/día	Total de viviendas
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	187	15	24/7	202
	Centro poblado del Cgto. Providencia	661	123	24/7	784

Municipio	Localidad	Viviendas con servicio de energía eléctrica	Viviendas sin energía eléctrica	Permanencia del servicio en horas/día	Total de viviendas
	El Diluvio	127	23	24/7	150
	El Iris	45	0	24/7	45
	Guacas Abajo	24	0	24/7	24
	Guacas Arriba	31	3	24/7	34
	La Bella	25	4	24/7	29
	La Linda	5	0	24/7	5
	La María	99	0	24/7	99
	La Trinidad	60	8	24/7	68
	Manizales	24	5	24/7	29
	Peñas Azules	51	0	24/7	51
	San Joaquín	46	9	24/7	55
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	37	9	24/7	46
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	80	0	24/7	80
Yolombó	Guacharacas	18	0	24/7	18
Total		1520	199		1719

Nota: CP Cristales, CP Providencia, vereda Villanueva y sector Villanueva se proyectaron triangulando información del SISBÉN con el reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021 y de las Fichas de caracterización veredal

IV. Gas y fuentes de combustión para cocinar

En lo que corresponde a fuentes de combustión, se encontró que el gas propano, al cual se accede a través de pipetas distribuidas por empresas privadas, corresponde a la modalidad más común para hacerse a un medio para la preparación de alimentos. Esto es así para los centros poblados y el sector Villanueva, por su cercanía con uno de ellos; sin embargo, para las localidades rurales, siempre predominó la implementación de fuentes vegetales como material de combustión para la preparación de alimentos, siendo la leña el medio más común (ver Tabla 10.85)

Tabla 10.85 Tipo de combustible para cocinar en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Electricidad	Gas natural domiciliario	Gas propano (cilindro o pipeta)	Kerosene, petróleo, gasolina, alcohol	Carbón mineral	Material de desecho, leña, carbón de leña	Ninguno	Total de viviendas
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	13	0	154	0	0	28	7	202

Municipio	Localidad	Electricidad	Gas natural domiciliario	Gas propano (cilindro o pipeta)	Kerosene, petróleo, gasolina, cocinol, alcohol	Carbón mineral	Material de desecho, leña, carbón de leña	Ninguno	Total de viviendas
	Centro poblado del Cgto. Providencia	17	0	552	2	2	203	8	784
	El Diluvio	0	0	59	2	0	83	6	150
	El Iris	0	0	9	3	0	30	3	45
	Guacas Abajo	0	0	1	0	0	22	1	24
	Guacas Arriba	1	0	3	0	0	30	0	34
	La Bella	0	0	3	0	0	26	0	29
	La Linda	0	0	5	0	0	0	0	5
	La María	1	0	36	6	0	56	0	99
	La Trinidad	0	0	22	0	0	46	0	68
	Manizales	1	0	5	0	0	19	4	29
	Peñas Azules	0	0	12	0	0	37	2	51
	San Joaquín	0	0	12	0	0	40	3	55
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	5	0	19	0	0	19	3	46
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	0	0	43	0	0	34	3	80
Yolombó	Guacharacas	0	0	0	0	0	18	0	18
Total		38	0	935	13	2	691	40	1719

Nota: CP Cristales, CP Providencia, vereda Villanueva y sector Villanueva se proyectaron triangulando información del SISBÉN con el reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021

V. Educación

En lo que corresponde al servicio educativo, se evidencia la disposición de una red de instituciones prestas a proporcionar educación en distintos niveles para la mayoría de las localidades en el área de influencia. Resalta la ausencia de un centro en las localidades de La Linda y Guacharacas, que de todas formas carecen de suficiente población en edad escolar; mientras que La Bella y Villanueva cuentan con tanta cercanía a otras centralidades (la cabecera de San Roque y Cristales, respectivamente); que suplen su necesidad a través de sus relaciones en estos territorios. Por demás, en la Tabla 10.86 se aprecia el nombre de las instituciones, las condiciones de su dotación, y para contexto, los niveles educativos ofrecidos, donde se aprecia que los centros poblados concentran la oferta educativa en el área de influencia.

Tabla 10.86 Establecimientos educativos ubicados en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Centro educativo	Dotación	Estudiantes actuales	Nivel
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	Institución Educativa Rural Cristales	Buena	229	Preescolar, básica primaria, básica secundaria y media
	Centro poblado del Cgto. Providencia	Institución Educativa Rural Providencia	Buena	334	Preescolar, básica primaria, básica secundaria y media
	El Diluvio	Centro Educativo Rural San Juan - Sede El Diluvio	Buena	30	Preescolar, básica primaria
	El Iris	Institución Educativa Rural Policarpa Salavarrieta	Regular	16	Básica primaria, básica secundaria
	Guacas Abajo	Centro Educativo Rural San Juan - Sede Guacas Abajo	Buena	1	Básica primaria
	Guacas Arriba	Centro Educativo Rural San Juan - Sede Guacas Arriba	Buena	10	Preescolar, básica primaria
	La Bella	No hay escuela en funcionamiento. Se dirigen a Guacas Arriba	No aplica	No aplica	No aplica
	La Linda	No se cuenta con infraestructura educativa	No aplica	No aplica	No aplica
	La María	Centro Educativo Rural San Juan - Sede La María	Buena	19	Preescolar, básica primaria, básica secundaria y media
	La Trinidad	Centro Educativo Rural San Juan - Sede La Trinidad	Buena	47	Preescolar, básica primaria, básica secundaria
	Manizales	Centro Educativo Rural San Juan - Sede Manizales	Mala	8	Preescolar, básica primaria
	Peñas Azules	Centro Educativo Rural San Juan - Sede Peñas Azules	Mala	11	Básica primaria
	San Joaquín	Centro Educativo Rural San Juan - Sede San Joaquín	Buena	14	Básica primaria, básica secundaria
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	No se cuenta con infraestructura educativa. Se dirigen a Providencia	No aplica	No aplica	No aplica
	Villanueva	No se cuenta con infraestructura educativa. Se dirigen a Cristales	No aplica	No aplica	No aplica
Yolombó	Guacharacas	No se cuenta con infraestructura educativa. Se dirigen a Providencia	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de las Fichas de caracterización veredal y el SIMAT municipal (julio 2025)

Adicional a esto, se puede detallar que, en infraestructura, los de mayor magnitud se ubican en los centros poblados. Para el caso de Providencia, se reseña especialmente la existencia del Centro de Formación La Bateíta, una infraestructura administrada por Gramalote Colombia Limited y utilizada como escenario para formación práctica y de corta duración, al igual que como espacio para la impartición de cursos en el marco de carreras técnicas o tecnológicas ofrecidas especialmente por el SENA.

VI. Salud

En el siguiente apartado se expondrán los aspectos más significativos del sistema de salud para cada unidad territorial del AI, como son: la afiliación al sistema de salud y la infraestructura existente.

Para el primero de estos elementos, la afiliación al sistema de salud se aprecia que predomina el régimen subsidiado como mecanismo de entrada (63% de la población se adscribe a este). Esto se encuentra alineado con un sistema productivo jalonado por las iniciativas informales, y es que al contrastar entre sí las cifras, se observa que por ejemplo a la afiliación al régimen subsidiado le siguen los no afiliados a ningún régimen (26%); y luego los afiliados al régimen contributivo o especial (10%). A propósito, el detalle se presenta en la Tabla 10.87. Vale aclarar que el 1% de la población se reportó sin dato, correspondiente a la población de Villanueva.

Tabla 10.87 Afiliación de la población al sistema de salud

Municipio	Localidad	Régimen subsidiado	Régimen contributivo o especial	Sin afiliación	Total de la población
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	275	118	171	564
	Centro poblado del Cgto. Providencia	1.566	304	882	2.752
	El Diluvio	404	15	99	518
	El Iris	117	10	4	131
	Guacas Abajo	63	5	23	91
	Guacas Arriba	100	0	17	117
	La Bella	53	11	9	73
	La Linda	4	11	0	15
	La María	197	41	25	263
	La Trinidad	182	13	89	284
	Manizales	94	1	26	121
	Peñas Azules	184	0	33	217
	San Joaquín	177	7	46	230
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	84	21	5	110
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	185	23	69	277
Yolombó	Guacharacas	Sin dato	Sin dato	Sin dato	54
Total		3.685	580	1.498	5.817

Nota: CP Cristales, CP Providencia, vereda Peñas Azules y sector Villanueva se proyectaron triangulando información del SISBÉN con el reporte del ASIS 2024 de San Roque.

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del SISBÉN 2021

En lo que corresponde a asistencia a centros de atención en salud, se reporta que dos de las localidades en el área de influencia cuentan con infraestructura asociada: Cristales con un Centro de Salud y Providencia con un Puesto de Salud. Por definición, estos centros atienden a las localidades aledañas a cada centro poblado; sin embargo, vale aclarar que existen otros espacios a los cual acude el personal para atención primaria: el Centro de Salud de San José del Nus; o bien el E.S.E. Hospital de San Roque, o directamente para atención de mayor complejidad se dirigen al E.S.E. Hospital San Rafael Yolombó (ver Tabla 10.88).

Tabla 10.88 Asistencia a centros de salud

Municipio	Localidad	Centros de salud rurales	¿A dónde asisten para la atención en salud?
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	Centro de Salud Cristales	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	Centro poblado del Cgto. Providencia	Puesto de Salud Providencia	
	El Diluvio	No cuenta con este tipo de equipamiento	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	El Iris	No cuenta con este tipo de equipamiento	Puesto de Salud Providencia, Centro de Salud San José del Nus, E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	Guacas Abajo	No cuenta con este tipo de equipamiento	Puesto de Salud Providencia, Centro de Salud San José del Nus
	Guacas Arriba	No cuenta con este tipo de equipamiento	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	La Bella	No cuenta con este tipo de equipamiento	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	La Linda	No cuenta con este tipo de equipamiento	Centro de Salud San José del Nus, Medellín
	La María	No cuenta con este tipo de equipamiento	Puesto de Salud Providencia, Centro de Salud San José del Nus
	La Trinidad	No cuenta con este tipo de equipamiento	Puesto de Salud Providencia, Centro de Salud San José del Nus
	Manizales	No cuenta con este tipo de equipamiento	Centro de Salud Cristales, E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	Peñas Azules	No cuenta con este tipo de equipamiento	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal
	San Joaquín	No cuenta con este tipo de equipamiento	Centro de salud Cristales, Centro de salud San José del Nus

Municipio	Localidad	Centros de salud rurales	¿A dónde asisten para la atención en salud?
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	No cuenta con este tipo de equipamiento	Puesto de Salud Providencia, Centro de Salud San José del Nus
	Villanueva	No cuenta con este tipo de equipamiento	Centro de Salud Cristales, E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal, Centro de salud Cristales
Yolombó	Guacharacas	No cuenta con este tipo de equipamiento	E.S.E Hospital San Roque - Cabecera municipal, E.S.E. Hospital San Rafael Yolombó, E.S.E Hospital Marco A. Cardona - Maceo

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de las Fichas de caracterización veredal

VII. Infraestructura recreativa y deportiva

En cuanto a infraestructura deportiva y recreativa, en el área de influencia se encontró una oferta amplia y distribuida. Menos El Balsal y La María, todas las localidades cuentan, por lo menos, con una caseta comunal. Mientras tanto, se observa una concentración de infraestructura en los centros poblados, por demás entendible entendiendo la configuración del territorio como veredas atraídas por la centralidad de cada corregimiento (ver Tabla 10.89).

Tabla 10.89 Escenarios deportivos, recreativos y comunitarios presentes en las unidades territoriales

Municipio	Localidad	Nombre de la infraestructura	Tipo de equipamiento	Capacidad # personas	Actualmente presta el servicio
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	Caseta comunal - La Alpujarrita	Infraestructura comunitaria	200	Si
		Coliseo	Escenario deportivo	100	Si
		Sede ASOMUCRIS	Infraestructura comunitaria	Sin dato	Si
		Gimnasio al aire libre y parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
		Estación de policía	Institucional	20	Si
	Centro poblado del Cgto. Providencia	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	Sin dato	No
		Canchas (2)	Escenario deportivo	Sin dato	Si
		Coliseo	Escenario deportivo	500	Si
		Asonlir (Antigua escuela)	Infraestructura comunitaria	30	Si
		Centro de formación La Bateita	Educativo	Sin dato	Si
		Centro de Desarrollo Infantil - CDI	Educativo	Sin dato	Si

Municipio	Localidad	Nombre de la infraestructura	Tipo de equipamiento	Capacidad # personas	Actualmente presta el servicio
		Parque infantil (2)	Escenario recreativo	Sin dato	Si
		Gimnasio al aire libre	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	El Diluvio	Placa polideportiva	Escenario deportivo	250	Si
		Sede adulto mayor	Infraestructura comunitaria	20	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	10	Si
		Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	60	Si
	El Iris	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	30	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	Guacas Abajo	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	60	Si
		Cancha	Escenario deportivo	30	Si
	Guacas Arriba	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	80	Si
		Placa deportiva	Escenario deportivo	200	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	La Bella	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	50	Si
		Placa deportiva	Escenario deportivo	Sin dato	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	La Linda	No cuentan con infraestructura social y comunitaria	No aplica	No aplica	No aplica
	La María	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	70	Si
		Cancha	Escenario deportivo	Sin dato	Si
	La Trinidad	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	35	Si
		Cancha	Escenario deportivo	100	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	Manizales	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	30	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si

Municipio	Localidad	Nombre de la infraestructura	Tipo de equipamiento	Capacidad # personas	Actualmente presta el servicio
		Cancha	Escenario deportivo	Sin dato	Si
	Peñas Azules	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	100	Si
		Cancha	Escenario deportivo	200	Si
		Cancha (CER)	Escenario deportivo	Sin dato	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	Sin dato	Si
	San Joaquín	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	200	Si
		Placa polideportiva	Escenario deportivo	200	Si
		Cancha fútbol	Escenario deportivo	500	Si
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	Cancha	Escenario deportivo	120	Si
		Parque infantil	Escenario recreativo	10	Si
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	Caseta comunal	Infraestructura comunitaria	60	Si
		Cancha	Escenario deportivo	Sin dato	Si
Yolombó	Guacharacas	Cancha	Escenario deportivo	200	Si

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de las Fichas de caracterización veredal y observación directa

VIII. Infraestructura de transporte, uso de las vías, frecuencia y tipo de transporte

En este apartado se tendrá en cuenta la infraestructura de transporte, los accesos veredales y la funcionalidad de estos. A su vez, el uso de las vías, medios de transporte y todas las formas de conectividad que tienen las comunidades del área de influencia.

Como se aprecia en la Tabla 10.90, el territorio se estructura a partir de una vía nacional (la que va de Cisneros a Puerto Berrío, concesionada a vías del Nus); al igual que dos vías secundarias: Caramanta-Cristales; y la vía que conecta a la ruta Cisneros-Puerto Berrío con la cabecera de San Roque. A partir de estas tres rutas estructurantes, se desprenden los demás accesos: la vía Cristales-Caramanta contempla el acceso a las veredas El Iris, El Diluvio, Manizales, Peñas Azules, Cristales, Guacas Abajo, y Villanueva (esta última conecta también a San Joaquín). Mientras tanto, de la vía nacional se hace conexión a La Trinidad, el costado occidental de Guacharacas, Providencia (conectando también con otro acceso a Guacharacas), La María, El Balsal, y La Linda. Ya de la vía hacia la cabecera de San Roque se desprende la conexión a La Bella y Guacas Abajo.

Salvo la vía a San Roque, la ruta Cisneros-Puerto Berrío, y las vías internas de Cristales y Providencia, por lo general los caminos son carreteables sin pavimentar, en regular estado. La conectividad tiene lugar como medio para garantizar el tránsito de personas y mercancía, coincidiendo con rutas de importancia local, regional y nacional. Los medios de transporte más comunes son el carro y la moto y, a pesar de que el área de influencia contiene un río, no se identificaron rutas fluviales.

Por demás, se encontró una red de transporte público que asegura la conexión entre corregimientos con la cabecera municipal de San Roque; también la población aprovecha la cercanía a una vía nacional para transportarse hacia Santiago (y de ahí hacen transbordo a Yolombó); Cisneros y Medellín por el occidente, o bien hacia Maceo o Puerto Berrío al occidente.

Tabla 10.90 Tipo de infraestructura vial y transporte utilizado

Municipio	Localidad	Tipo de infraestructura	Estado	Rutas	Funcionalidad	Tipo de transporte predominante utilizado	Transporte público (Si-No)	Frecuencia
San Roque	Centro poblado del Cgto. Cristales	Vía vehicular	Regular	Caramanta (vía nacional) a San Roque pasando por Cristales	Conectividad entre localidades, comercialización, acceso a servicios sociales	Moto - carro - bus	Si	Diario. De Cristales a San José 6:00 a.m. 9:00 a.m. 2:00 p.m. y 6:00 p.m. De San José a Cristales a las 8:00 a.m. 12:00 m y 4:00 p.m. De Cristales a Medellín diario a las 2:15 p.m
	Centro poblado del Cgto. Providencia	Vía vehicular	Bueno	Providencia - Cisneros - San José	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	Si	Diario. 5.40 a.m., 9:00 a.m., 12:00m y 5:00 p.m.
				Providencia - San Roque	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	Si	Diario. 7:00 a.m, 11:00 a.m. y 3:00 pm. (Una hora después es el regreso)
		Puente	Bueno	Providencia - Guacharacas	Conectividad entre Guacharacas (Yolombó) y Providencia, para salir a vía nacional	Moto - Carro	No	No aplica

Municipio	Localidad	Tipo de infraestructura	Estado	Rutas	Funcionalidad	Tipo de transporte predominante utilizado	Transporte público (Si-No)	Frecuencia
	El Diluvio	Vía vehicular	Mala	Cristales a San José pasando por El Diluvio	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	Si	Diario. De Cristales a San José 6:00 a.m. 9:00 a.m. 2:00 p.m. y 6:00 p.m. De San José a Cristales a las 8:00 a.m. 12:00 m y 4:00 p.m.
	El Iris	Vía vehicular	Regular	Vía Nacional - Vía Cristales y desvío a vereda El Iris. Se dirigen a San José, Providencia, Cristales y la Cabecera municipal	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	No	No aplica
		Puente	Regular	Al interior de la vereda	Conectividad en la misma vereda			
	Guacas Abajo	Vía vehicular	Mala	Cristales - Guacas Abajo	Conectividad, comercialización	Carro - A pie	No	No aplica
		Puente	Bueno (3), Malo (1)	No aplica	Conectividad	A pie	No	No aplica

Municipio	Localidad	Tipo de infraestructura	Estado	Rutas	Funcionalidad	Tipo de transporte predominante utilizado	Transporte público (Si-No)	Frecuencia
	Guacas Arriba	Vía vehicular	Regular	Vía San Roque	Conectividad, temas económicos	Moto - Carro	Si	Fines de semana. A San Roque: sábado a las 7:00 a.m. y Domingo 8:00 a.m. Desde San Roque: sábado a las 4:00 p.m. y Domingo 5:00 p.m.
		Puente	Regular	Al interior de la vereda	Conectividad en la misma vereda			
	La Bella	Vía vehicular	Mala	Vía San Roque	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto	Si	Fines de semana. A San Roque: sábado a las 7:30 a.m. y 4:30 p.m.; Domingo 8:30 a.m. y 5:30 p.m. Desde San Roque: sábado a las 6:30 a.m. y 2:00 p.m.; Domingo 7:30 a.m. y 3:00 p.m.
		Puente	Bueno	Camino hacia Guacas Arriba				
	La Linda	Vía vehicular	Bueno	Vía nacional, ingreso a predios - San José	Comercialización, conectividad	Carro	No	No aplica
	La María	Vía vehicular	Bueno	Vía nacional	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto, carro, chivero, motorratón	No	Por quedar sobre la vía nacional existen muchas rutas que pueden hacer parada en

Municipio	Localidad	Tipo de infraestructura	Estado	Rutas	Funcionalidad	Tipo de transporte predominante utilizado	Transporte público (Si-No)	Frecuencia
								algún punto de la vereda.
	La Trinidad	Vía vehicular	Bueno	Vía nacional	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	No	Por quedar sobre la vía nacional existen muchas rutas que pueden hacer parada en algún punto de la vereda.
	Manizales	Vía vehicular	Regular	Cristales a San José pasando por Manizales	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto	Si	Diario. De Cristales a San José 6:00 a.m. 9:00 a.m. 2:00 p.m. y 6:00 p.m. De San José a Cristales a las 8:00 a.m. 12:00 m y 4:00 p.m.
	Peñas Azules	Vía vehicular	Regular	Vía a Cristales y Peñas Azules	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto - Carro	No	No aplica
	San Joaquín	Vía vehicular	Regular	Vía a Cristales y San Joaquín	Conectividad	Moto - carro	Si	San Joaquín a Cristales diario 6:30 a.m. 12:00 m y 1:30 p.m. San Joaquín a San José del Nus

Municipio	Localidad	Tipo de infraestructura	Estado	Rutas	Funcionalidad	Tipo de transporte predominante utilizado	Transporte público (Si-No)	Frecuencia
								los domingos 8:00 a.m. y 1:00 p.m.
	Sector El Balsal de la vereda Guacas abajo	Vía vehicular	Buena	Vía nacional ingreso a El Balsal	Conectividad entre localidades, comercialización	Moto, carro, motorratón	No	No aplica
	Sector Villanueva del corregimiento Cristales	Vía vehicular	Regular	Vía nacional a Cristales	Conectividad entre localidades, comercialización, acceso a servicios sociales	Moto - carro	Si	Aplica el de Cristales, ya que son territorios contiguos
Yolombó	Guacharacas	Vía vehicular	Regular	Entrada por corregimiento Providencia	Conectividad	Moto - Carro	No	No aplica
		Vía vehicular	Regular	Entrada por la gitana - acceso a la mayoría	Conectividad			
		Puente	Regular	Acceso por la entrada a la gitana	Conectividad			

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de las Fichas de caracterización veredal y observación directa

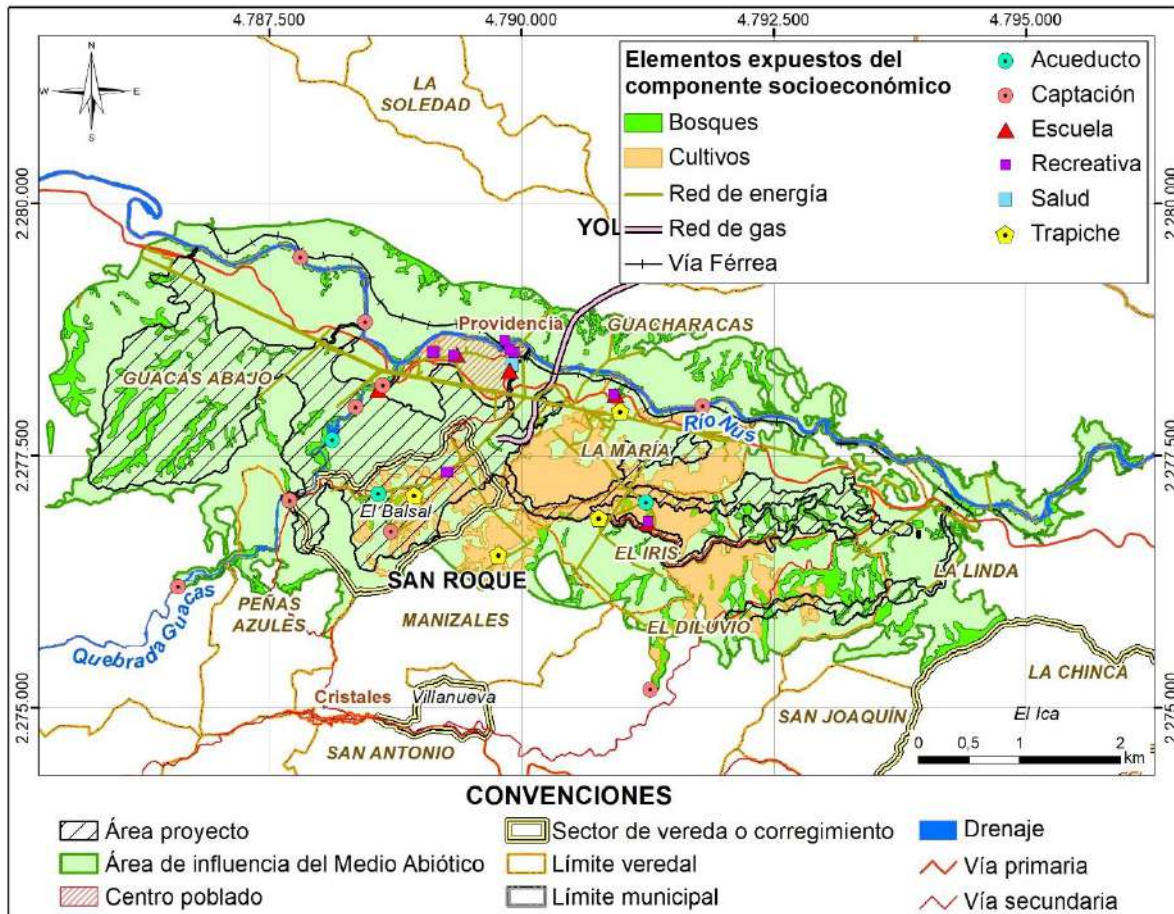


Figura 10.85 Elementos expuestos del componente socioeconómico

Fuente: Integral S.A., 2025

G. Análisis del riesgo

Una vez identificados los eventos amenazantes, se procede a realizar el análisis del riesgo, donde se considera la probabilidad y las consecuencias ante la ocurrencia de un evento contingente.

a. Análisis de las consecuencias

Las consecuencias hacen referencia a los resultados o efectos producto de la materialización de un evento amenazante, la evaluación de las consecuencias potenciales debe realizarse de manera razonable y precisa, llegando a establecer un nivel de severidad a cada una de las amenazas identificadas.

Esta variable es de carácter cuantitativo, por lo tanto, se usa una escala numérica de 1 a 6 para representar la severidad de la materialización de las amenazas para cada uno de los factores.

La evaluación de las consecuencias se realiza para cuatro elementos sensibles: individual, ambiental, social y económico; la escala de valoración se presenta en la Tabla 10.91.

Tabla 10.91 Escala de calificación de consecuencias

Valor	Nivel	Consecuencias individuales	Consecuencias Ambientales	Consecuencias económicas	Consecuencias sociales
C1	Insignificante	Efectos despreciables sobre la salud – Ninguna lesión	Despreciable.	< US\$ 10.000	Despreciable
C2	Menor	Una exposición improbable que conlleve a un daño – Puede presentar un caso de tratamiento médico	Sin efectos duraderos en el medio ambiente biológico o físico. Daños menores en área poco representativa	US\$ 10.000 - 100.000	Impacto social o cultural bajo. Daño menor reparable a las estructuras comunes.
C3	Moderado	Efectos reversibles para la salud que no constituyen una amenaza para la vida – puede presentar Incapacidad temporal	Efecto moderado en ambiente biológico o físico, no afecta la función del ecosistema. Efectos moderados a corto plazo, daños mínimos en área poco representativa.	US\$ 100.000 – 1 Millón	Impacto social a mediano plazo moderado en la población local. Daño moderado al patrimonio cultural.
C4	Alto	Efectos adversos para la salud que son permanentes, pero no afectan significativamente la calidad de vida o la longevidad. Efectos sobre la salud que pueden ser ligeramente limitantes o incapacitantes y, por lo tanto, podrían conllevar a un cambio de ocupación y/o estilo de vida – puede presentar	Efecto significativo en el ambiente biológico o físico, no afecta la función del ecosistema. Efectos a corto plazo con impacto generalizado.	US\$ 1 millón – 10 millones	Problemas sociales continuos. Alto daño al patrimonio cultural de alto valor.

Valor	Nivel	Consecuencias individuales	Consecuencias Ambientales	Consecuencias económicas	Consecuencias sociales
		incapacidad permanente			
C5	Mayor	Efectos adversos sobre la salud que son generalmente permanentes y podrían conllevar a una reducción significativa en la calidad de vida. Por lo general, una exposición continua probablemente conlleva a una incapacidad física o mental permanente o una enfermedad limitante a largo plazo. Puede presentar casos de enfermedad ocupacional, incapacidad múltiple e incluso muerte	Efecto ambiental serio con algún deterioro de la función del ecosistema. Efectos a Mediano plazo relativamente extendidos.	US\$ 10 millones - 50 millones	Problemas sociales persistentes.
C6	Extremo	Efectos adversos para la salud que conllevan a múltiples fatalidades.	Efecto ambiental serio con algún deterioro de la función del ecosistema. Efectos a largo plazo sobre un área representativa.	> US\$ 50 millones	Extremo impacto social generalizado. Daño irreparable al patrimonio cultural de alto valor.

Fuente: PGR_01_V1, 2019

Es así como la valoración de las consecuencias se realiza para cada uno de los escenarios de riesgo identificados para el proyecto, dicha valoración se realiza considerando los factores de vulnerabilidad, las áreas de posible afectación y los resultados de las modelaciones realizadas, como se describe a continuación:

I. Sismos

En la Tabla 10.92 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante sismos para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.92 Análisis de consecuencias ante sismos

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Rotura de la presa de colas por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño de la presa.	Extrema: Ante la rotura de la presa y considerando los volúmenes de agua almacenados, la presencia de viviendas en las zonas de retiro de los afluentes y su ocurrencia de manera súbita, la onda de inundación puede tomar vidas humanas con su avance.	Mayor: La inundación causada por la falla de la presa de colas puede generar deterioro de los hábitats para los ecosistemas acuáticos y para los ecosistemas terrestres cuya recuperación podría darse en un plazo moderado.	Mayor: La inundación generada podría llegar a ocasionar daños y pérdidas en las viviendas e infraestructura de la población, además de afectar las vías y por consiguiente el transporte. Adicional a esto se puede afectar los cultivos presentes en la zona de inundación.	Extrema: Las consecuencias económicas se consideran extremas ya que la inundación generaría pérdidas económicas significantes en la población, podría generar daños en infraestructura pública como el puente de la quebrada La Palestina, sumado a la inundación de la ruta nacional 62 y otras vías primarias y secundarias.
B: Rotura de las presas de sedimentación de Depósitos por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	Menor: Como se mencionó en el escenario de lluvias torrenciales, la inundación generada por la rotura de las presas de sedimentación para el caso de falla por tubificación no alcanzaría a	El material liberado ante la rotura de presa corresponde a depósitos con alto contenido de sedimentos, los cuales serían vertidos en los afluentes donde se localizan las presas y en el río Nus, se considera que los	Como se mencionó anteriormente, la inundación alcanzaría algunas de las viviendas localizadas en los retiros del río Nus, además, la onda de inundación podría llegar a afectar los	Ante el evento de inundación se podrían afectar los puentes El topacio, El Banco, la ruta nacional 62 y algunas viviendas de Providencia aledañas al cauce del río Nus, sin embargo, se

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
	superar los estimados para un evento de inundación con un periodo de retorno de 2,33 años, de acuerdo con esto la afectación a la población aguas abajo sería a aquellos asentados sobre la franja de retiro del río Nus, por lo tanto se considera un riesgo menor.	cuerpos de agua se pueden recuperar en un mediano a corto plazo.	puentes en los afluentes El Topacio, El Banco, La Colorada y/o La Maria y la Ruta Nacional 62, alterando temporalmente las dinámicas sociales.	consideran daños reparables; además de las pérdidas económicas que pueda generar la ruptura y reconstrucción de dicha estructura.
C: Rotura de otras presas por ocurrencia de un sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	Menor: Considerando el volumen de agua y materiales solidos que pueden almacenar estas presas (considerando el sedimentador de mayor capacidad), este puede llegar a generar una afectación las algunas viviendas localizadas en la zona de retiro del río Nus, la afectación se daría posiblemente a las personas asentadas en estas zonas de retiro.	Moderado: El material liberado ante la rotura de los sedimentadores corresponde a aguas con alto contenido de sedimentos, los cuales serían vertidos en el río Nus, se considera que el cuerpo de agua puede recuperarse en un mediano a corto plazo	Menor: Como se mencionó anteriormente, la inundación solo alcanzaría algunas viviendas localizadas en los retiros del río Nus, por lo tanto, la afectación a estas sería mínima, la onda de inundación podría llegar a afectar la Ruta Nacional 62, alterando temporalmente las dinámicas sociales.	Moderado: Ante el evento de inundación se podrían afectar algunos puentes de la ruta nacional 62 y algunas viviendas del corregimiento de San José del Nus aledañas al cauce del río Nus, sin embargo, se consideran daños reparables; además de las pérdidas económicas que pueda generar la ruptura y reconstrucción de dicha estructura.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

II. Movimientos en masa

En la Tabla 10.118 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante movimientos en masa para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.93 Análisis de consecuencias ante movimientos en masa

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten captaciones de agua	Menor: Considerando el escenario, el cual corresponde a un deslizamiento en zonas de obra afectando cuerpos de agua se considera que los daños a personas serán mínimos, ya que la principal consecuencia sería el incremento de sedimentos o contaminación de las fuentes hídricas, la cual podría ser captada para consumo humano llegando a ocasionar algún tratamiento médico en la persona que la consuma.	Menor: Ante la ocurrencia de un deslizamiento los volúmenes movilizados serían muy bajos, por lo tanto, los sedimentos que afectarían los cuerpos de agua no tendrán una afectación relevante, adicional el impacto sería de corto plazo.	Menor: La afectación a las fuentes de agua generaría un impacto mínimo, ya que no afectaría las dinámicas sociales de manera significativa.	Menor: Los daños ocasionados serían mínimos ya que los deslizamientos se consideran puntuales y de poco volumen, de tal modo que los afluentes se pueden recuperar de manera natural; los taludes afectados requerirán de inversión para ser estabilizados o recuperados para las obras.
B: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten vías e infraestructura	Moderado: Se considera moderado ya que, al afectar infraestructura y vías, existe una alta probabilidad que personas se vean afectadas, llegando a requerir incapacidad temporal.	Menor: Se consideran menores ya que se considera que no se generará algún impacto significativo en el medio ambiente.	Menor: Dado que el evento ocurre al interior del área de obras, la infraestructura y vías con mayor probabilidad de ser afectadas serán las del proyecto, lo cual no generaría algún impacto social.	Menor: Los daños ocasionados serían mínimos ya que los deslizamientos se consideran puntuales y de poco volumen, podría ocasionar la suspensión de actividades temporalmente sin embargo el periodo de tiempo sería corto; los taludes afectados requerirán de inversión para ser estabilizados o recuperados, además de la

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
				inversión necesaria para recuperar vías e infraestructura en caso de presentar daños.
Falla Geotécnica del Depósito R	<p>Mayor: Se considera en nivel de consecuencia mayor edificación la cual se encuentra en zona de interacción directa con el material desprendido. Adicionalmente, los 12 m de vía ubicados en la trayectoria principal del material deslizado</p> <p>Moderado: Se identificaron 4,0 m de vía susceptibles a afectación parcial o lateral, y definidos principalmente por los escenarios de falla estático y NFX.</p> <p>Menor: edificaciones aledañas al depósito R y que están localizadas por fuera del eje principal del desplazamiento o en protegidas por el relieve al estar en cotas mayores. Y El resto de los caminos y accesos aledaños al depósito R se identificaron por fuera del alcance directo de los tres escenarios de falla o que corresponden a tramos protegidos geomorfológicamente.</p>	Mayor: ronda hídrica de la quebrada sin nombre con ID 056704001679, así como áreas de vegetación secundaria alta, las cuales constituyen los principales receptores ambientales potencialmente afectados.	No se identifican	Menor: cultivo de caña adyacente al Depósito R
Falla Geotécnica del	Mayor: cuatro edificaciones	Mayor: área de vegetación	No se identifican	Myor: la porción del cultivo de

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
Depósito El Torito	localizadas dentro de las zonas de depositación asociadas a los escenarios de falla estático, pseudoestático y por lluvia extrema (NFX). Adicionalmente, se identificaron dos edificaciones ubicadas hacia el sector W–NW de las posibles zonas de depositación. Además 8 m de vías o accesos existentes Menor: corresponde a edificaciones localizadas fuera del eje principal de desplazamiento o en zonas parcialmente protegidas por el relieve, donde la probabilidad de interacción directa con el material movilizado es menor.	secundaria baja, asociada a suelos con uso de sistemas forestales protectores, que sería potencialmente afectada por los escenarios de falla estático, pseudoestático y de nivel freático extremo (NFX).		caña ubicada dentro de la trayectoria estimada del deslizamiento

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

III. Inundaciones

En la Tabla 10.94 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante inundaciones para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.94 Análisis de consecuencias ante inundaciones

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Rotura de presas de sedimentación con afectación a terceros	Moderado: Se considera que las consecuencias son moderadas ya que los volúmenes almacenados en estas presas, en su mayoría se asemejan a la inundación con	Moderado: La ruptura de las presas ocasionaría la liberación de aguas con un alto contenido de sedimentos que afectaría los afluentes por un	Moderado: Ante el evento de inundación se podrían afectar los puentes El topacio, El Banco, La colorada y/o La María, la ruta nacional 62 y	Moderado: Ante el evento de inundación se podrían afectar los puentes El topacio, El Banco, la ruta nacional 62 y algunas viviendas de

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
	periodo de retorno de 2,33 años o inferiores aguas abajo del río Nus, a excepción a la presa del sedimentador de presas de colas, el cual presentaría una afectación similar a la creciente de los 50 años de período de retorno, se consideran consecuencias en las poblaciones localizadas aguas abajo, especialmente las viviendas localizadas aledañas al cauce del río Nus.	corto a mediano plazo.	algunas viviendas de Providencia y de San José del Nus aledañas al cauce del río Nus, afectando las dinámicas sociales temporalmente; sin embargo se consideran que los daños generados son reparables y de corta duración. Adicional a esto se contempla el escenario de contaminación por sedimentos de los afluentes.	Providencia aledañas al cauce del río Nus; además de las pérdidas económicas que pueda generar la ruptura y reconstrucción de dicha estructura.
B: Inundación de zonas de obras en la etapa de construcción (Desviación Q. Guacas)	Moderado: Se considera que la afectación a personas sería moderada, podría generar incapacidad temporal, aunque se considera que la zona de obras contará con sitios seguros para el personal ante emergencias, además de contar con un sistema de alertas como medidas preventivas durante la construcción de la desviación.	Moderado: Dado que el evento está asociado a dinámicas naturales del afluente se contempla el arrastre de materiales de obra, llegando a generar un incremento en los sedimentos transportados y la presencia de otros objetos, sin embargo, se considera que los daños generados serían moderados, además que la recuperación se daría en un plazo moderado.	Moderado: Considerando las áreas de afectación de este escenario y los posibles elementos expuestos, se considera que la afectación a las dinámicas sociales o a la comunidad será Moderado.	Moderado: La ocurrencia de una creciente durante la construcción de la obra podría llegar a ocasionar la pérdida de material de obra, pérdidas o daños en la maquinaria presente e incluso daños en el avance de la obra, además de alguna infraestructura aguas debajo de la obra por lo que se considera moderado las consecuencias económicas.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

IV. Avenidas torrenciales

En la Tabla 10.95 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante avenidas torrenciales para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.95 Análisis de consecuencias ante avenidas torrenciales

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Daños en las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial	Alto: Se considera que las consecuencias a nivel individual son altas para aquellas personas que se encuentren en las instalaciones al momento de materializarse el escenario	Moderado: La materialización de una avenida torrencial carga de sedimentos los afluentes por un corto a mediano plazo.	Menor: Ante el evento daño a las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial el nivel de consecuencia al componente social es menor puesto que no se generan afectaciones directas sobre este componente.	Menor: Desde el componente económico, el nivel de consecuencia asociado a daños en las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial se considera bajo, dado que los diseños incorporan criterios para resistir eventos extremos, lo que disminuye significativamente su vulnerabilidad y reduce la probabilidad de pérdidas materiales

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

V. Incendios forestales

En la Tabla 10.96 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante incendios forestales para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.96 Análisis de consecuencias ante incendios forestales

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Incendio forestal derivado de un evento interno (incendio, derrame, explosión)	Moderado: Ante la ocurrencia de un incendio las consecuencias en las personas podrían contemplar quemaduras que requieran algún tratamiento médico.	Menor: Las consecuencias ambientales se consideran bajas ya que los daños se generarían principalmente en cobertura vegetal vulnerable ante un incendio	Menor: Las consecuencias sociales se consideran menores, ya que el evento afectaría la actividad económica de algunos agricultores, sin	Menor: La afectación se daría principalmente en la infraestructura, la cual contará con sistemas contra incendios y alarmas, sin embargo, puede

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
		(pastos y cultivos principalmente), las cuales pueden ser recuperadas en un corto plazo.	embargo, sería un impacto puntual y reparable.	llegar a presentar daños considerables; adicional a esto se generarán pérdidas por la afectación a la vegetación y cultivos.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

VI. Orden público y social

En la Tabla 10.125 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante orden público y social para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.97 Análisis de consecuencias ante orden público y social

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Eventos de sabotaje y atentados sobre alguna estructura sensible o sobre el personal del proyecto, por parte de grupos opuestos al proyecto.	Moderado: En caso de presentarse algún sabotaje o atentado podría generarse lesiones al personal que genere alguna incapacidad temporal.	Menor: El daño ambiental depende en gran medida a la infraestructura que sea atentada, sin embargo, se considera que el impacto sería bajo y con efectos poco duraderos.	Menor: Se pueden llegar a presentar alteraciones en el transporte y en las actividades de las comunidades aledañas al proyecto, afectando así sus dinámicas sociales, sin embargo, su recuperación sería casi que inmediata después de cesado el evento.	Mayor: Ante la ocurrencia de un evento de este tipo, podría ocasionarse afectaciones en la operación cuya duración puede llegar a ser prolongada, además de la recuperación de la infraestructura afectada.
B: Paros o huelgas por parte del personal del proyecto	Menor: Se considera que ante una huelga o paro podrían presentarse algunos disturbios que podrían ocasionar algunos casos que requieran	Insignificante: Se considera que las consecuencias ambientales son insignificantes ya que se prevé que el evento no generará impactos sobre	Menor: Se pueden llegar a presentar alteraciones en el transporte y actividades de las comunidades en caso de que se desarrollen bloqueos fuera	Alto: Ante la ocurrencia de un evento de este tipo, podría ocasionarse afectaciones en la construcción u operación cuya duración puede llegar a ser prolongada.

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
	tratamientos médicos.	el medio ambiente.	del proyecto, sin embargo, se normalizarían casi que inmediatamente después de cesado el evento.	

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

VII. Explosiones no controladas

En la Tabla 10.127 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante explosiones no controladas para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.98 Análisis de consecuencias ante explosiones no controladas

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Explosión accidental en almacenamiento de materiales explosivos (polvorín)	Mayor: En caso de una explosión accidental el evento podría llegar a generar incapacidades temporales, permanentes e incluso la muerte del personal encontrado en el área de explosión, es por esto que el riesgo se considera mayor.	Menor: Dado que la explosión ocurre al interior del proyecto el efecto en el medio ambiente es bajo y su área sería muy puntual, por lo tanto, el riesgo se considera menor.	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni en sus dinámicas sociales.	Moderado: El evento ocurriría de manera puntual, afectando la infraestructura donde ocurre el evento y posiblemente algunas aledañas, además de la pérdida de la materia almacenada en dicha infraestructura; adicional a esto la operación puede verse suspendida temporalmente, es por esto que se considera unas consecuencias económicas moderadas.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

VIII. Derrame de materiales peligrosos

En la Tabla 10.99 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante derrame de materiales peligrosos para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.99 Análisis de consecuencias ante derrame de materiales peligrosos

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Explosión accidental en la planta de transferencia y polvorín	Mayor: En caso de una explosión accidental el evento podría llegar a generar incapacidades temporales, permanentes e incluso la muerte del personal encontrado en el área de explosión, es por esto que el riesgo se considera mayor.	Menor: Dado que la explosión ocurre al interior del proyecto el efecto en el medio ambiente es bajo y su área sería muy puntual, por lo tanto, el riesgo se considera menor.	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni en sus dinámicas sociales.	Moderado: El evento ocurriría de manera puntual, afectando la infraestructura donde ocurre el evento y posiblemente algunas aledañas, además de la pérdida de la materia almacenada en dicha infraestructura; adicional a esto la operación puede verse suspendida temporalmente, es por esto que se considera unas consecuencias económicas moderadas.
B: Explosión accidental en la zona de obras durante actividades de construcción y operación del proyecto	Mayor: En caso de una explosión accidental el evento podría llegar a generar incapacidades temporales, permanentes e incluso la muerte del personal encontrado en el área de explosión, es por esto que el riesgo se considera mayor.	Menor: Dado que la explosión ocurre al interior del proyecto el efecto en el medio ambiente es bajo y su área sería muy puntual, por lo tanto, el riesgo se considera menor.	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni en sus dinámicas sociales.	Moderado: Ante una explosión la infraestructura donde ocurra el evento y aledaña podría presentar daños o pérdidas; además de la posible afectación a maquinaria en caso de que el evento ocurra durante la etapa de construcción e incluso puede

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
				ocasionar la suspensión de las actividades tanto en construcción como operación.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

IX. Incendio estructural

En la Tabla 10.100 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante incendio estructural para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.100 Análisis de consecuencias ante incendio estructural

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Incendio en transformador de aceite	Moderado: La afectación a las personas estará asociada principalmente al personal que trabaja en dichas áreas, las cuales podrían llegar a presentar incapacidades temporales, por lo tanto, se considera un riesgo moderado.	Menor: Dado que el evento ocurre al interior de las instalaciones, en zonas de intervención antrópica, se considera que los efectos al medio ambiente son menores, serían puntuales y de rápida recuperación.	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni en sus dinámicas sociales.	Menor: Este riesgo se considera menor dado que la afectación se daría de manera puntual, llegando a presentarse la posible pérdida de la infraestructura asociada al escenario o de vehículos de carga asociados.
B: Incendio por tanque de almacenamiento de diésel	Moderado: La afectación a las personas estará asociada principalmente al personal que trabaja en dichas áreas, las cuales podrían llegar a presentar incapacidades temporales, por lo tanto, se considera un riesgo moderado.	Menor: Dado que el evento ocurre al interior de las instalaciones, en zonas de intervención antrópica, se considera que los efectos al medio ambiente son menores, serían puntuales y de rápida recuperación.	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni en sus dinámicas sociales.	Menor: Este riesgo se considera menor dado que la afectación se daría de manera puntual, llegando a presentarse la posible pérdida de la infraestructura asociada al escenario o de vehículos de carga asociados.
C: Incendio en planta proceso – espumador MIBC	Moderado: La afectación a las personas estará asociada	Menor: Dado que el evento ocurre al interior de las	Insignificante: No se genera ningún efecto en la comunidad, ni	Menor: Este riesgo se considera menor dado que la

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
	principalmente al personal que trabaja en dichas áreas, las cuales podrían llegar a presentar incapacidades temporales, por lo tanto, se considera un riesgo moderado.	instalaciones, en zonas de intervención antrópica, se considera que los efectos al medio ambiente son menores, serían puntuales y de rápida recuperación	en sus dinámicas sociales.	afectación se daría de manera puntual, llegando a presentarse la posible pérdida de la infraestructura asociada al escenario o de vehículos de carga asociados.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

X. Colapso estructural

En la Tabla 10.101 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad colapso estructural para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.101 Análisis de consecuencias ante colapso estructural

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Rotura de los tanques de procesos de lixiviación en la planta de beneficio	Mayor: Se considera que el colapso de la estructura podría llegar a ocasionar incapacidades temporales o permanentes e incluso la muerte para personal del Proyecto, dadas las dimensiones y volúmenes de material que almacenan.	Menor: La rotura de los tanques ocasionaría la liberación de las sustancias del proceso de lixiviación, considerando que este proceso se realiza en un lugar cerrado y que se cuenta con diques de contención, se considera que el riesgo al medio ambiente puede ser menor.	Insignificante: Dado que la estructura se encuentra dentro del área del proyecto y su afectación es puntual, no se considera algún tipo de afectación a la comunidad.	Moderado: La principal afectación económica estaría en la pérdida de infraestructura de la planta de beneficio y del material almacenado en dichos tanques.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

XI. Falla de presa de colas

En la Tabla 10.102 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante falla de presa de colas para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.102 Análisis de consecuencias ante falla de presa de colas

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Rotura de presa de arranque:	Extremo: Ante la rotura de la presa de colas,	Mayor: La inundación causada por la	Mayor: Se considera un riesgo mayor ya	Extremo: La onda de inundación llega

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
Condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación.	considerando los volúmenes que almacena, la onda de inundación generada llegaría a alcanzar viviendas en el corregimiento San José del Nus y del Municipio de Caracolí, lo cual podría llegar a afectar vidas humanas.	falla de la presa de colas puede generar deterioro de los hábitats para los ecosistemas acuáticos y para los ecosistemas terrestres adicional a esto se podría llegar a contaminar los acuíferos; cuya recuperación podría darse en un plazo moderado o mayor.	que la inundación podría llegar a generar pérdidas o daños importantes en viviendas, infraestructura social y de servicios, instalaciones comerciales, entre otros, adicional a esto las vías se verían afectadas e interrumpidas; se considera que el evento generaría una afectación importante en los valores culturales de la comunidad, por lo tanto se clasifica como grave.	a afectar las viviendas generando daños o pérdidas, daños y obstrucción en el puente de la quebrada Palestina y la Ruta Nacional 62, además de otras vías primarias y secundarias. Adicional a lo anterior la rotura de la presa misma genera pérdidas, llegando incluso a afectar la operación al tener que verse suspendida.
B: Rotura de presa de arranque: Condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso.	Extremo: Ante la rotura de la presa de colas, considerando los volúmenes que almacena, la onda de inundación generada llegaría a alcanzar viviendas en el corregimiento San José del Nus y del Municipio de Caracolí, lo cual podría llegar a afectar vidas humanas.	Mayor: La inundación causada por la falla de la presa de colas puede generar deterioro de los hábitats para los ecosistemas acuáticos y para los ecosistemas terrestres cuya recuperación podría darse en un plazo moderado.	Mayor: Se considera un riesgo mayor ya que la inundación podría llegar a generar pérdidas o daños importantes en viviendas, infraestructura social y de servicios, instalaciones comerciales, entre otros, adicional a esto las vías se verían afectadas e interrumpidas; se considera que el evento	Extremo: La onda de inundación llega a afectar las viviendas generando daños o pérdidas, daños y obstrucción en el puente de la quebrada Palestina y la Ruta Nacional 62, además de otras vías primarias y secundarias. Adicional a lo anterior la rotura de la presa misma genera pérdidas, llegando incluso

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
			generaría una afectación importante en los valores culturales de la comunidad, por lo tanto se clasifica como grave.	a afectar la operación al tener que verse suspendida.
C: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación	Extremo: Ante la rotura de la presa de colas, considerando los volúmenes que almacena, la onda de inundación generada llegaría a alcanzar viviendas en el corregimiento San José del Nus y del Municipio de Caracolí, lo cual podría llegar a afectar vidas humanas.	Mayor: La inundación causada por la falla de la presa de colas puede generar deterioro de los hábitats para los ecosistemas acuáticos y para los ecosistemas terrestres adicional a esto se podría llegar a contaminar los acuíferos; cuya recuperación podría darse en un plazo moderado o mayor.	Mayor: Se considera un riesgo mayor ya que la inundación podría llegar a generar pérdidas o daños importantes en viviendas, infraestructura social y de servicios, instalaciones comerciales, entre otros, adicional a esto las vías se verían afectadas e interrumpidas; se considera que el evento generaría una afectación importante en los valores culturales de la comunidad, por lo tanto, se clasifica como grave.	Extremo: La onda de inundación llega a afectar las viviendas generando daños o pérdidas, daños y obstrucción en el puente de la quebrada Palestina y la Ruta Nacional 62, además de otras vías primarias y secundarias. Adicional a lo anterior la rotura de la presa misma genera pérdidas, llegando incluso a afectar la operación al tener que verse suspendida.
D: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso	Extremo: Ante la rotura de la presa de colas, considerando los volúmenes que almacena, la onda de inundación generada llegaría a alcanzar viviendas en el	Mayor: La inundación causada por la falla de la presa de colas puede generar deterioro de los hábitats para los ecosistemas acuáticos y para	Mayor: Se considera un riesgo mayor ya que la inundación podría llegar a generar pérdidas o daños importantes en	Extremo: La onda de inundación llega a afectar las viviendas generando daños o pérdidas, daños y obstrucción en el puente de la

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
	corregimiento San José del Nus y del Municipio de Caracolí, lo cual podría llegar a afectar vidas humanas.	los ecosistemas terrestres cuya recuperación podría darse en un plazo moderado.	viviendas, infraestructura social y de servicios, instalaciones comerciales, entre otros, adicional a esto las vías se verían afectadas e interrumpidas; se considera que el evento generaría una afectación importante en los valores culturales de la comunidad, por lo tanto se clasifica como grave.	quebrada Palestina y la Ruta Nacional 62, además de otras vías primarias y secundarias. Adicional a lo anterior la rotura de la presa misma genera pérdidas, llegando incluso a afectar la producción al tener que verse suspendida.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

XII. Falla de la tubería de colas

En la Tabla 10.103 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante falla de la tubería de colas para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.103 Análisis de consecuencias ante falla de la tubería de colas

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
Rotura de la tubería de conducción de colas de flotación o lixiviación	Menor: Ante la ruptura de una tubería, se considera que el personal podría llegar a requerir tratamiento médico.	Moderado: La tubería de colas como su nombre lo indica, conduce las colas del proceso, estas son fluido viscoso compuesto por arenas, lodos y agua con residuos de sólidos, que en caso de verse afectado por una ruptura liberaría dicho fluido, afectando el suelo y el agua,	Menor: Se considera que la afectación es menor, dado que no se afectaría ninguna infraestructura social, podría ocasionarse afectación respecto a las restricciones para el uso del agua.	Moderado: Se considera que los gastos y daños generados consisten principalmente en la infraestructura de la tubería principalmente por lo que se considera moderado.

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
		en caso de alcanzar alguna fuente de agua; sin embargo, se considera que los volúmenes y concentraciones hacen que el efecto pueda recuperarse en un moderado a corto plazo.		

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

XIII. Derrumbe de taludes de los depósitos

En la Tabla 10.105 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante un derrumbe de taludes de los depósitos para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.104 Análisis de consecuencias ante un derrumbe de taludes de los depósitos y tajo

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A:Derrumbe de taludes de los depósitos	Menor: Se considera menor ya que solo afectaría a las personas cuyo abastecimiento de agua este dado de dichas corrientes de agua, llegando a generar posiblemente tratamientos médicos.	Moderado: El efecto ambiental esta dado principalmente en el incremento de sedimentos en los cuerpos de agua, se considera que es un impacto moderado cuya recuperación se dará en moderado a corto plazo.	Menor: Se considera menor ya que la afectación a los cuerpos de agua podría generar afectación respecto a las restricciones para el uso del agua.	Menor: Ante el evento de desestabilización, los efectos económicos estarían dados en la recuperación y estabilización de los taludes.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

XIV. Emergencia sanitaria

En la Tabla 10.105 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante una emergencia sanitaria para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.105 Análisis de consecuencias ante una emergencia sanitaria

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Intoxicación masiva de personal que	Moderado: Se considera moderado, ya que la intoxicación	Insignificante: El escenario no generaría ningún efecto ambiental.	Insignificante: Se considera que el escenario no llegaría a	Moderado: Dado que la intoxicación se contempla

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
labora en el proyecto	podría llegar a generar la incapacidad temporal masiva del personal del Proyecto.		afectar la comunidad, por lo tanto, el riesgo es insignificante.	masiva, en caso de generarse la incapacidad de gran cantidad del personal podría llegar a verse afectada la operación, además de los gastos asociados a las incapacidades. Se contempla un riesgo moderado.
B: Epidemia de enfermedades infecciosas o virales que afecten al personal que labora en el proyecto	Moderado: Las personas que se vean afectadas por una epidemia pueden llegar a requerir tratamiento médico e incluso incapacidad temporal según la enfermedad.	Insignificante: El escenario no generaría ningún efecto ambiental.	Insignificante: Se considera que el escenario puede llegar a afectar a la comunidad de manera insignificante, considerando que las personas afectadas sean trabajadores del área de influencia del Proyecto, y estos a su vez puedan transmitir las enfermedades a otras personas de la comunidad.	Moderado: En caso de generarse incapacidad de gran cantidad del personal podría llegar a verse afectada la operación, además de los gastos asociados a dichas incapacidades. Se contempla un riesgo moderado.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

XV. Accidentes de vehículos de carga

En la Tabla 10.106 se describe el análisis de consecuencias o vulnerabilidad ante un accidente de vehículo de carga para el componente individual, ambiental, social y socioeconómico.

Tabla 10.106 Análisis de consecuencias ante accidentes de vehículos de carga

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
A: Derrame de cianuro de sodio por accidente del	Mayor: En caso de que el cianuro alcance los	Mayor: Un derrame de esta sustancia en una	Menor: Se considera que la afectación es	Mayor: Se considera unas consecuencias

Escenario	C. Individuales	C. Ambientales	C. Sociales	C. Económicas
vehículo que lo transporta y que contamine un curso de agua.	afluentes y considerando el escenario más crítico el cual sería afectar una corriente de agua que sea fuente de abastecimiento de algún acueducto o de captación para cualquier uso, se podría presentar intoxicaciones que podrían llegar incluso a ser letales dependiendo de las concentraciones de la sustancia en el agua, es por esto que el riesgo se considera alto.	fuente hídrica generaría un impacto ambiental grave, ya que puede ocasionar la afectación de los ecosistemas acuáticos presentes en la zona, generando un daño considerable en las funciones ecosistémicas, es por esto que se considera unas consecuencias ambientales mayores.	menor, dado que podría ocasionarse restricciones para el uso del agua.	económicas mayores considerando las incapacidades y muertes que puede llegar a generar el evento, además de la posibilidad de presentar sanciones legales por parte de la autoridad ambiental.
B: Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine el suelo	Moderado: Se considera moderado ya que, al ocurrir un derrame de cianuro al suelo, este puede entrar en contacto con el personal que labore en dicha zona o con aquel que atienda la emergencia, ocasionando que la sustancia ingrese al organismo por vía respiratoria, dérmica o conjuntival, generando intoxicación que podría llegar a generar incapacidad temporal.	Moderado: El derrame de cianuro al suelo podría ocasionar la infiltración de la sustancia en el mismo, llegando a afectar la vegetación presente, favoreciendo la movilización de metales pesados, llegando a ocasionar la contaminación de aguas subterráneas.	Menor: Dado que el evento se contempla que suceda dentro de las instalaciones del proyecto, su ocurrencia no afectaría las dinámicas sociales de la zona.	Mayor: Se consideran unas consecuencias económicas mayores considerando las incapacidades que puede llegar a generar el evento, además de la posibilidad de presentar sanciones legales por parte de la autoridad ambiental.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

b. Análisis de probabilidad

La probabilidad es la mayor o menor posibilidad de que ocurra un evento, adicional a esto se asocia con la frecuencia de ocurrencia, esta se determina a partir de datos históricos, análisis locales y/o el juicio de un experto.

El análisis de probabilidad contempla tanto la probabilidad de que se materialice el evento, como la probabilidad de que se den las consecuencias potenciales descritas previamente; esta evaluación se realiza asignándole a las amenazas un nivel de probabilidad en términos de dos escalas, la primera de ellas es probabilística (porcentaje), y la segunda es lingüística, tal como se muestra en la Tabla 10.107.

Tabla 10.107 Categorías de probabilidad para los eventos

	Porcentaje	<1%	1 – 33%	3 – 50%	50 – 66%	66 – 96%	96 – 100%
Probabilidad	Lingüístico	Casi imposible	Muy improbable	Improbable	Probable	Muy Probable	Casi seguro
		L1	L2	L3	L4	L5	L6
Posibilidad durante la vida del proyecto							

Fuente: Con base en Group Risk Assessment and Reporting Matrix AngloGold Ashanti, 2018

En la Tabla 10.108 se presenta la probabilidad asignada a cada uno de los escenarios de riesgo identificados con su respectiva descripción, para el análisis de la probabilidad se consideraron los controles establecidos en los diseños de las obras y las medidas de manejo contenidas en los Programas de Manejo Ambiental aprobados en la Licencia Ambiental del Proyecto.

Tabla 10.108 Análisis de probabilidad para los escenarios de riesgo

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
Sismo	A: rotura de la presa de colas por sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	<1%	L1 Casi imposible	La probabilidad de falla por sismo que genere pérdida de borde libre es de 1×10^{-15} , que genere agrietamiento es de 1×10^{-13} y que genere licuación de 1×10^{-14} , considerándose casi imposible.
	B: rotura de presas de sedimentación de Depósitos por sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	<1%	L1 Casi imposible	Se hace poco probable la materialización de este tipo de evento considerando que los criterios de diseño de las presas se realizan acorde a las normas internacionales, adicional a esto teniendo en cuenta la amenaza sísmica de la región y los tiempos de operación del proyecto.
	C: rotura de otras presas de sedimentación por sismo	<1%	L1 Casi imposible	Se hace poco probable la materialización de este tipo de evento considerando que los criterios de diseño de las presas se realizan acorde a las normas internacionales, adicional a esto teniendo en cuenta la amenaza

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
				sísmica de la región y los tiempos de operación del proyecto.
Movimientos en masa	A: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten captaciones de agua.	1-33%	L2 muy improbable	Se considera poco probable que ocurran procesos de remoción en masa durante la construcción de las obras y operación de las mismas, dado que los diseños constructivos son desarrollados de manera que se minimicen estos posibles eventos; adicional a esto la probabilidad que afecte un cuerpo de agua es aún menor, sin embargo, se considera la presencia de zonas con susceptibilidad alta a los eventos de remoción en masa.
	B: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten vías e infraestructura del proyecto	1-33%	L2 muy improbable	Se considera poco probable que ocurran procesos de remoción en masa en zonas de obras, dado que los diseños constructivos son desarrollados de manera que se minimicen estos posibles eventos, sin embargo, se considera la presencia de zonas con susceptibilidad alta a los eventos de remoción en masa.
	C: Falla Geotécnica del Depósito R	1-33%	L2 muy improbable	En conjunto, los resultados indican que ambos depósitos presentan una amenaza geotécnica baja, ya que incluso al considerar eventos de baja frecuencia y alta intensidad, las probabilidades de falla durante la vida útil permanecen inferiores al 2% correspondientes a categorías de ocurrencia “casi imposible” o “Muy improbable” según los criterios de utilizados en el plan de gestión de riesgo elaborados para Gramalote.
	D: Falla Geotécnica del Depósito El Torito	1-33%	L2 muy improbable	
Inundaciones	A: Rotura de presas de sedimentación con afectación a terceros	<1%	L1 Casi imposible	Se considera que este escenario es casi imposible dado que se aplicaron tormentas de diseño de 24 horas y 1'000.000 años de retorno a los vertederos de emergencia para salvaguardar la integridad de las presas.
	B: Inundación de zonas de obras en la etapa de construcción (Desviación Q. Guacas)	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera muy improbable considerando el tiempo de duración de la etapa de construcción, adicional a esto en los criterios de diseño de la obra se contemplan este tipo de eventos.

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
Avenida torrencial	A: Daños en las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial	1-33%	L2 Muy imposible	Se considera poco probables, dado que a pesar de que la parte alta de las cuencas donde las pendientes son altas pueden estar amenazadas por avenidas torrenciales las infraestructuras fueron diseñadas para resistir el paso de estos flujos.
Incendio forestal	A: Incendio forestal derivado de un evento interno (incendio, derrame, explosión)	33-50%	L3 Improbable	Aunque la presencia de cultivos y pastos aumenta el riesgo de incendios naturales durante periodos de sequía, y las quemas son prácticas frecuentes en la comunidad, el escenario analizado contempla que el incendio se origine fuera del proyecto y alcance sus instalaciones. Esta probabilidad se considera baja, dado que el proyecto cuenta con un Equipo de Respuesta a Emergencias y sistemas de control contra incendios, lo que permitiría contener cualquier eventualidad antes de afectar la infraestructura.
Orden público y social	A: Eventos de sabotaje y atentados sobre alguna estructura sensible o sobre el personal del proyecto, por parte de grupos opuestos al proyecto	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera muy improbable ya que en la socialización y desarrollo del proyecto se ha venido realizando una buena gestión social durante los cinco últimos años, en los cuales se han realizado negociaciones con mineros y cosecheros de la zona; adicional a esto el proyecto contempla la vinculación laboral a la población de la región.
	B: Paros o huelgas por parte del personal del proyecto	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera muy improbable dado que el proyecto aplicará políticas de vinculación laboral favorables para la población local y estrategias laborales aplicables a todo el personal.
Explosiones no controladas	A: Explosión accidental en almacenamiento o de materiales explosivos (polverín)	1-33%	L2 Muy improbable	Aunque el proyecto requiere grandes volúmenes de explosivos, su almacenamiento y manejo cumplen con la norma NFPA 495 (2001) y cuentan con sistemas de control como detectores, rociadores y un Equipo de Respuesta a Emergencias. Además, la zona de almacenamiento mantiene una distancia mínima de 200 m respecto a la infraestructura, lo que hace que la probabilidad de ocurrencia de este tipo de evento sea muy baja

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
Derrame de materiales peligrosos	A: Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación de suelos	33-50%	L3 Improbable	El proyecto manejará diversos materiales peligrosos, como derivados del petróleo (aceites, gasolina, grasas) y reactivos para el beneficio del oro (NaOH, SO ₂ , H ₂ O ₂ , entre otros). No obstante, la probabilidad de derrames se reduce significativamente gracias a la aplicación de protocolos y criterios para transporte, almacenamiento y manipulación conforme a la normativa vigente, así como al uso de equipos de protección adecuados
	B: Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación en cauces de agua	33-50%	L3 Improbable	El proyecto manejará materiales peligrosos como derivados del petróleo (aceites, lubricantes, gasolina) y reactivos para el beneficio del oro (NaOH, SO ₂ , H ₂ O ₂ , cianuro, entre otros). Si bien la posibilidad de incidentes es considerable, esta se reduce significativamente mediante la aplicación de protocolos para transporte, almacenamiento y manipulación conforme a la normativa vigente, así como el uso adecuado de equipos de protección.
Incendio estructural	A: Incendio en transformador de aceite	33-50%	L3 Improbable	La probabilidad es muy baja porque los transformadores operan bajo diseños normativos, poseen muros cortafuegos, sistemas de detección y distancias de seguridad que reducen al mínimo las condiciones que podrían originar un sobrecalentamiento crítico. Además, no contienen gases presurizados ni presentan procesos que generen recalentamientos externos que favorezcan una ignición.
	B: Incendio por tanque de almacenamiento de diésel	33-50%	L3 Improbable	es muy improbable porque la zona de almacenamiento cuenta con muros de contención, sistemas de drenaje, pisos impermeabilizados, señalización y control estricto de actividades de mantenimiento. La instalación está diseñada para evitar acumulación de vapores inflamables y para impedir fuentes de ignición no controladas.
	C: Incendio en planta proceso – espumador MIBC	33-50%	L3 Improbable	el manejo del MIBC se realiza en un sistema cerrado de tuberías y bombeo, con ventilación adecuada, puesta a tierra y protocolos estrictos para trabajos en caliente. Además, se

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
				dispone de extinción especializada para líquidos inflamables y controles operativos que minimizan fugas y acumulación de vapores.
Colapso estructural	A: Rotura de los tanques de procesos de lixiviación en la planta de beneficio	<1%	L1 Casi imposible	Se considera casi imposible la materialización de este evento, dado que el diseño de los tanques cumple con las normas de almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas, además de que se contará con un sistema de control de derrames que disminuye la probabilidad de materialización del impacto.
Falla de la presa de Colas	A: Rotura de presa de arranque: Condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación.	<1%	L1 Casi imposible	Según el análisis de rotura de presa de Golder Associates (2017) (Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas) la probabilidad de falla por tubificación en el cuerpo del terraplén es de 1×10^{-14} y en la cimentación de 1×10^{-13} , considerándose casi imposible.
	B: Rotura de presa de arranque: Condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso.	<1%	L1 Casi imposible	Según el análisis de rotura de presa de Golder Associates (2017) (Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas) la probabilidad de falla por sobrepaso es de 1×10^{-13} , considerándose casi imposible.
	C: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación	<1%	L1 Casi imposible	Según el análisis de rotura de presa de Golder Associates (2017) (Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas) la probabilidad de falla por tubificación en el cuerpo del terraplén es de 1×10^{-15} y en la cimentación es de 1×10^{-12} , considerándose casi imposible.
	D: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso	<1%	L1 Casi imposible	Según el análisis de rotura de presa de Golder Associates (2017) (Anexo_PGR_Análisis_Rotura_PresaColas) la probabilidad de falla por sobrepaso es de 1×10^{-16} , considerándose casi imposible.
Falla en la tubería de colas	Rotura de la tubería de conducción de colas de flotación o lixiviación	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera muy poco probable, ya que el diseño de la tubería cumple con normas internacionales. Aunque la zona presenta una susceptibilidad moderada a movimientos en masa, las áreas de alta susceptibilidad se han

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
				evitado en el trazado. Además, pese a la sismicidad alta, la probabilidad de afectación por sismo es baja, lo que reduce significativamente el riesgo de ruptura por deslizamientos o eventos sísmicos.
Derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo	A: Derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera muy poco probable, ya que los diseños cumplen con las normas nacionales e internacionales
Emergencia sanitaria	A: Intoxicación masiva de personal que labora en el proyecto	1-33%	L2 Muy improbable	La intoxicación masiva podría presentarse principalmente por la ingesta de alimentos o contaminación de las fuentes de abastecimiento; teniendo en cuenta que los casinos deberán cumplir con todos los requerimientos de seguridad e higiene establecidos por la ley, que se realizarán campañas preventivas y de calidad en el proceso de preparación de alimentos y de la existencia de la planta de tratamiento de agua potable para el personal del proyecto, se considera como baja la probabilidad de ocurrencia de un evento de este tipo.
	B: Epidemia de enfermedades infecciosas o virales que afecten al personal que labora en el proyecto.	1-33%	L2 Muy improbable	Las características de la zona son propicias para la proliferación de enfermedades infecciosas y virales como la fiebre amarilla, dengue, hepatitis, etc., sin embargo, el proyecto contempla campañas de prevención y vacunación, además de un programa de medicina preventiva y de saneamiento básico en pro de las condiciones de salubridad, por lo tanto, se considera poco probable.
Accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible)	A: Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine un curso de agua.	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera una probabilidad muy baja a este tipo de evento, dadas las políticas de transporte de este tipo de sustancia, además de las medidas de seguridad con las que cuenta el proyecto para la movilidad de los vehículos en las instalaciones del proyecto.

Evento	Escenario de riesgo	Probabilidad		Descripción
		%	Lingüístico	
	B: Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine el suelo.	1-33%	L2 Muy improbable	Se considera una probabilidad muy baja a este tipo de evento, dadas las políticas de transporte de este tipo de sustancia, además de las medidas de seguridad con las que cuenta el proyecto para la movilidad de los vehículos en las instalaciones del proyecto.

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

c. Evaluación del Riesgo

Con base en el análisis de consecuencias y la estimación de probabilidades para cada amenaza y escenario identificado, se procede a determinar el nivel de riesgo resultante. La Tabla 10.109 presenta esta evaluación, mostrando el riesgo individual, ambiental, social y socioeconómico, así como el nivel de riesgo total para cada escenario considerado. Esta síntesis permite visualizar de manera integral el impacto potencial y la clasificación final del riesgo en el contexto del proyecto.

Tabla 10.109 Evaluación del riesgo

Amenaza	Evento	Nivel de riesgo individual	Nivel de riesgo ambiental	Nivel de riesgo social	Nivel de riesgo económico	Nivel de riesgo final
Sismo	A: rotura de la presa de colas por sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	-21	-17	-17	-21	-21
	B: rotura de presas de sedimentación de Depósitos por sismo con aceleraciones superiores a las consideradas en el diseño	-2	-8	-2	-8	-8
	C: rotura de otras presas de sedimentación por sismo	-2	-8	-2	-8	-8
Movimientos en masa	A: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten captaciones de agua.	-9	-9	-9	-9	-9
	B: Deslizamientos de tierra en zonas de obras que afecten vías e infraestructura del proyecto	-15	-9	-9	-9	-15
	C: Falla Geotécnica del Depósito R	-27	-27	-3	22	-27

Amenaza	Evento	Nivel de riesgo individual	Nivel de riesgo ambiental	Nivel de riesgo social	Nivel de riesgo económico	Nivel de riesgo final
	D: Falla Geotécnica del Depósito El Torito	-27	-27	-3	22	-27
Inundaciones	A: Rotura de presas de sedimentación con afectación a terceros	-8	-8	-8	-8	-8
	B: Inundación de zonas de obras en la etapa de construcción (Desviación Q. Guacas)	-15	-15	-15	-15	-15
Avenidas torrenciales	A: Daños en las instalaciones por la ocurrencia de una avenida torrencial	-22	-15	-9	-9	-22
Incendios forestales	A: Incendio forestal derivado de un evento interno (incendio, derrame, explosión)	-16	-28	-10	-10	-28
Orden público y social	A: Eventos de sabotaje y atentados sobre alguna estructura sensible o sobre el personal del proyecto, por parte de grupos opuestos al proyecto	-15	-9	-9	-22	-22
	B: Paros o huelgas por parte del personal del proyecto	-9	-3	-9	-22	-22
Explosiones no controladas	A: Explosión accidental en almacenamiento de materiales explosivos (polvorín)	-27	-9	-3	-15	-27
Derrame de materiales peligrosos	A: Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación de suelos	-16	-28	-10	-28	-28
	B: Derrame de materiales peligrosos que generen contaminación en cauces de agua	-28	-28	-10	-28	-28
Incendio estructural	A: Incendio en transformador de aceite	-16	-10	-10	-10	-16
	B: Incendio por tanque de almacenamiento de diésel	-16	-10	-10	-10	-16
	C: Incendio en planta proceso – espumador MIBC	-16	-10	-10	-10	-16

Amenaza	Evento	Nivel de riesgo individual	Nivel de riesgo ambiental	Nivel de riesgo social	Nivel de riesgo económico	Nivel de riesgo final
Colapso estructural	A: Rotura de los tanques de procesos de lixiviación en la planta de beneficio	-17	-2	-1	-8	-17
Falla de la presa de Colas	A: Rotura de presa de arranque: Condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación.	-21	-17	-17	-21	-21
	B: Rotura de presa de arranque: Condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso.	-21	-17	-17	-21	-21
	C: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día soleado y por tipo de falla de tubificación	-21	-17	-17	-21	-21
	D: Rotura de presa de arena: condición hidrológica de día lluvioso y por tipo de falla de sobrepaso	-21	-17	-17	-21	-21
Falla en la tubería de colas	Rotura de la tubería de conducción de colas de flotación o lixiviación	-9	-15	-9	-15	-15
Derrumbe de taludes de los depósitos de material	Derrumbe de taludes de los depósitos de material	-9	-15	-9	-9	-15
Emergencia sanitaria	A: Intoxicación masiva de personal que labora en el proyecto	-15	-3	-3	-15	-15
	B: Epidemia de enfermedades infecciosas o virales que afecten al personal que labora en el proyecto.	-15	-3	-3	-15	-15
Accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro, combustible)	A: Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine un curso de agua.	-27	-27	-9	-27	-27
	B: Derrame de cianuro de sodio por accidente del vehículo que lo transporta y que contamine el suelo.	-15	-15	-9	-27	-27
Índice de Riesgo		Umbral de Riesgo				

Amenaza	Evento	Nivel de riesgo individual	Nivel de riesgo ambiental	Nivel de riesgo social	Nivel de riesgo económico	Nivel de riesgo final
Rojo (-31 a -36)		Excede significativamente el umbral – Acción				
Naranja (-25 a -30)		Excede el umbral –Gestión proactiva				
Amarillo (-16 a -24)		Umbral del riesgo – Gestión activa				
Azul (-9 a -15)		Por debajo del umbral de riesgo – Gestión rutinaria				
Verde (-1 a -8)		Muy por debajo del umbral de riesgo - Gestión rutinaria				

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

Del análisis de la valoración del riesgo se concluye que, en general, ninguno de los escenarios identificados supera de manera significativa el umbral establecido. Sin embargo, algunos escenarios presentan niveles que requieren una gestión proactiva en caso de materializarse. Entre ellos se destacan: incendio forestal originado por un evento interno (incendio, derrame, explosión), explosión accidental en la planta de transferencia y polvorín, explosión accidental en zonas de obra durante construcción u operación, derrames de materiales peligrosos con potencial de contaminación en suelos o cauces, y derrames de cianuro de sodio por accidentes en transporte que afecten cuerpos de agua o suelos. La Tabla 10.110 presenta la jerarquización de estos riesgos, permitiendo priorizar acciones de control y mitigación.

Tabla 10.110 Jerarquización del riesgo

Clasificación (índice)	Amenazas
-28 (Excede el umbral –Gestión proactiva)	Derrame de materiales peligrosos, Incendios forestales
-27 (Excede el umbral –Gestión proactiva)	Accidentes de vehículos de carga (Escenario A y B) Explosiones no controladas (Escenario A, B y C)
-27 (Excede el umbral –Gestión proactiva)	Movimientos en masa Escenario C y D Falla Geotécnica de los Depósitos R y El Torito
-22 (Umbral del riesgo – Gestión activa)	Avenidas torrenciales, Orden público (Escenario A y B)
-21 (Umbral del riesgo – Gestión activa)	Sismo (Escenario A), Falla de la presa de Colas (Escenario A, B, C y D)
-17 (Umbral del riesgo – Gestión activa)	Colapso estructural
-16 (Umbral del riesgo – Gestión activa)	Incendio estructural
-15 (Por debajo del umbral de riesgo – Gestión rutinaria)	Movimientos en masa (Escenario B), Inundaciones (Escenario B), Derrumbe de taludes de los depósitos de material, Emergencia sanitaria,
-10 (Por debajo del umbral de riesgo – Gestión rutinaria)	--
-9 (Por debajo del umbral de riesgo – Gestión rutinaria)	Movimientos en masa (Escenario A)
-8 (Muy por debajo del umbral de riesgo - Gestión rutinaria)	Sismo (Escenario B y C), Inundaciones (Escenario A),

Fuente: Integral S.A., 2025 Adaptado de PGR_01_V1, 2019

d. Análisis de riesgo por componente

El análisis del riesgo para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolló mediante un enfoque por componentes, con el propósito de identificar y valorar las posibles afectaciones que podrían generarse sobre los ámbitos ambiental, social, socioeconómico e individual como consecuencia de los escenarios de riesgo tecnológico identificados.

Para ello, se tomaron como insumo las Áreas de Probable Afectación (APA) obtenidas en el análisis de consecuencias presentado en el Anexo 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 evaluación se realizó de manera diferenciada para los componentes ambiental, social, socioeconómico e individual, considerando la naturaleza de los elementos expuestos y el tipo de afectación que podría producir cada escenario de riesgo.

I. Riesgo Ambiental

El análisis del riesgo ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolló a partir de las Áreas de Probable Afectación (APA) obtenidas en el análisis de consecuencias del riesgo tecnológico, con el propósito de identificar la posible interacción entre los escenarios accidentales modelados y los elementos expuestos del componente ambiental.

Los resultados de la modelación evidencian que los escenarios de incendio del transformador de aceite, incendio del tanque de almacenamiento de diésel e incendio en la planta de proceso – espumador MIBC presentan radios de afectación confinados al interior de las áreas destinadas a la infraestructura del proyecto, por lo que no se identifican elementos ambientales expuestos dentro de sus zonas de influencia.

En contraste, el escenario correspondiente a la explosión en el polvorín genera un área de afectación que supera el límite de la infraestructura proyectada, interceptando elementos del componente ambiental representados por rondas hídricas, coberturas de bosque denso alto, bosques de galería o riparios y áreas de vegetación secundaria alta. Estos elementos poseen una alta importancia ecológica debido a las funciones de regulación hídrica, conservación de la biodiversidad y conectividad ecológica que desempeñan dentro del área de influencia del proyecto.

Las consecuencias potenciales sobre estos elementos se asocian principalmente a los efectos de la sobrepresión generada por el escenario de explosión, la cual podría ocasionar afectaciones sobre la estructura de la vegetación, pérdida localizada de cobertura vegetal

y alteraciones temporales en la funcionalidad ecológica de los ecosistemas presentes dentro del radio de afectación. La magnitud de dichas consecuencias depende de la extensión de la superposición entre las Áreas de Probable Afectación y los elementos ambientales identificados.

Con base en la integración entre los resultados del análisis de consecuencias y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, se realizó la valoración del riesgo ambiental mediante los criterios establecidos en la Tabla 10.111.

Tabla 10.111 Criterios de valoración del riesgo ambiental

Nivel de riesgo	Criterios de valoración del riesgo Ambiental	Criterios de aceptabilidad del riesgo
Alto	El daño potencial implica pérdida o degradación irreversible de ecosistemas estratégicos (humedales, bosques de galería o relictos boscosos, bosque denso). Alta exposición a amenazas con baja capacidad de recuperación natural.	Riesgo inaceptable. Requiere medidas de protección estrictas y control permanente.
Medio	El daño potencial es parcialmente reversible. Afecta ecosistemas o suelos de protección con capacidad moderada de recuperación mediante medidas de manejo ambiental.	Riesgo tolerable. Requiere medidas de mitigación y monitoreo frecuente.
Bajo	El daño potencial es reversible y de baja magnitud. Los elementos expuestos cuentan con mecanismos naturales de resiliencia o están distantes de zonas de intervención directa. El daño potencial es reversible y de baja magnitud. Los elementos expuestos cuentan con mecanismos naturales de resiliencia o están distantes de zonas de intervención directa.	Riesgo aceptable. Requiere seguimiento básico dentro del plan de manejo ambiental.

Fuente: Integral S.A., 2026

De acuerdo con los criterios de valoración aplicados, los elementos ambientales potencialmente expuestos al escenario de explosión en el polvorín presentan niveles de riesgo entre bajo y medio, resultado de la combinación entre la extensión de las áreas de afectación modeladas y la sensibilidad ecológica de las coberturas interceptadas. En consecuencia, la gestión del riesgo para estos elementos se orienta a mantener la eficacia de las medidas de prevención y control del riesgo tecnológico, así como a garantizar la implementación de las acciones de respuesta y recuperación ambiental previstas en el Plan de Gestión del Riesgo, en caso de materializarse el escenario evaluado.

La distribución espacial de los elementos ambientales potencialmente afectados y los niveles de riesgo obtenidos se presentan en la Figura 10.86 (mapa de riesgo ambiental).

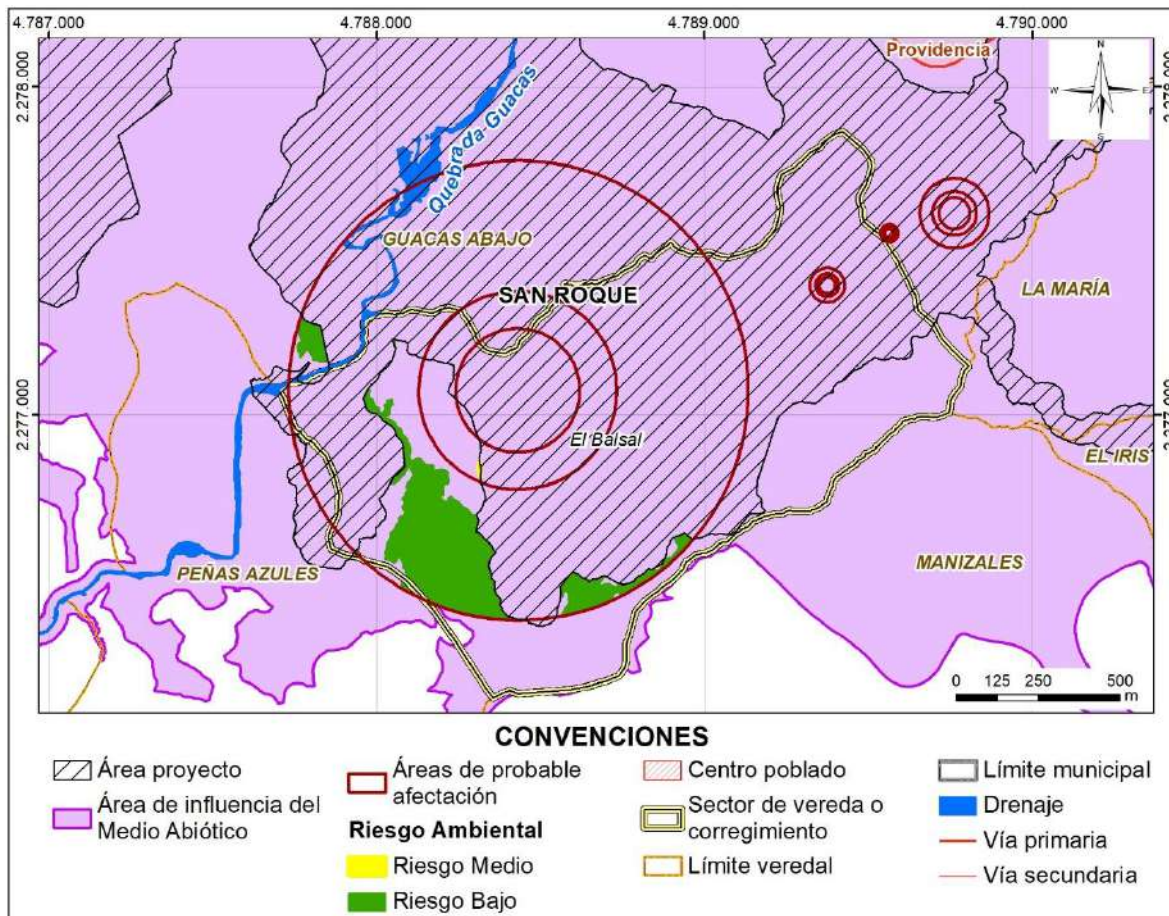


Figura 10.86 Riesgo ambiental

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Riesgo Social

El análisis del riesgo social para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolló a partir de las Áreas de Probable Afectación (APA) obtenidas en el análisis de consecuencias del riesgo tecnológico, con el propósito de identificar la posible interacción entre los escenarios accidentales modelados y los elementos expuestos del componente social.

Para este análisis se consideraron como elementos expuestos del componente social los centros poblados, áreas de tejido urbano continuo y discontinuo y los equipamientos colectivos y demás espacios asociados a la dinámica comunitaria presentes en el área de influencia del proyecto.

La superposición espacial entre las Áreas de Probable Afectación y la cartografía de los elementos expuestos evidencia que ninguno de los escenarios de riesgo tecnológico modelados intercepta elementos pertenecientes al componente social como se muestra en la Figura 10.87. Los radios de afectación asociados a los escenarios de incendio del transformador de aceite, incendio del tanque de almacenamiento de diésel, incendio en la

planta de proceso – espumador MIBC y explosión en el polvorín permanecen por fuera de las áreas donde se localizan los asentamientos humanos representados en la Figura 10.87 como tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo.

En consecuencia, para los escenarios evaluados no se identifican consecuencias potenciales sobre el componente social, dado que no existe exposición directa de comunidades ni de infraestructura de uso colectivo frente a los efectos físicos modelados.

Considerando que la valoración del riesgo requiere la existencia de elementos expuestos dentro de las Áreas de Probable Afectación, no fue necesario aplicar la metodología de clasificación del nivel de riesgo para este componente, concluyéndose que los escenarios de riesgo tecnológico analizados no representan un riesgo social para las comunidades localizadas en el entorno del proyecto.

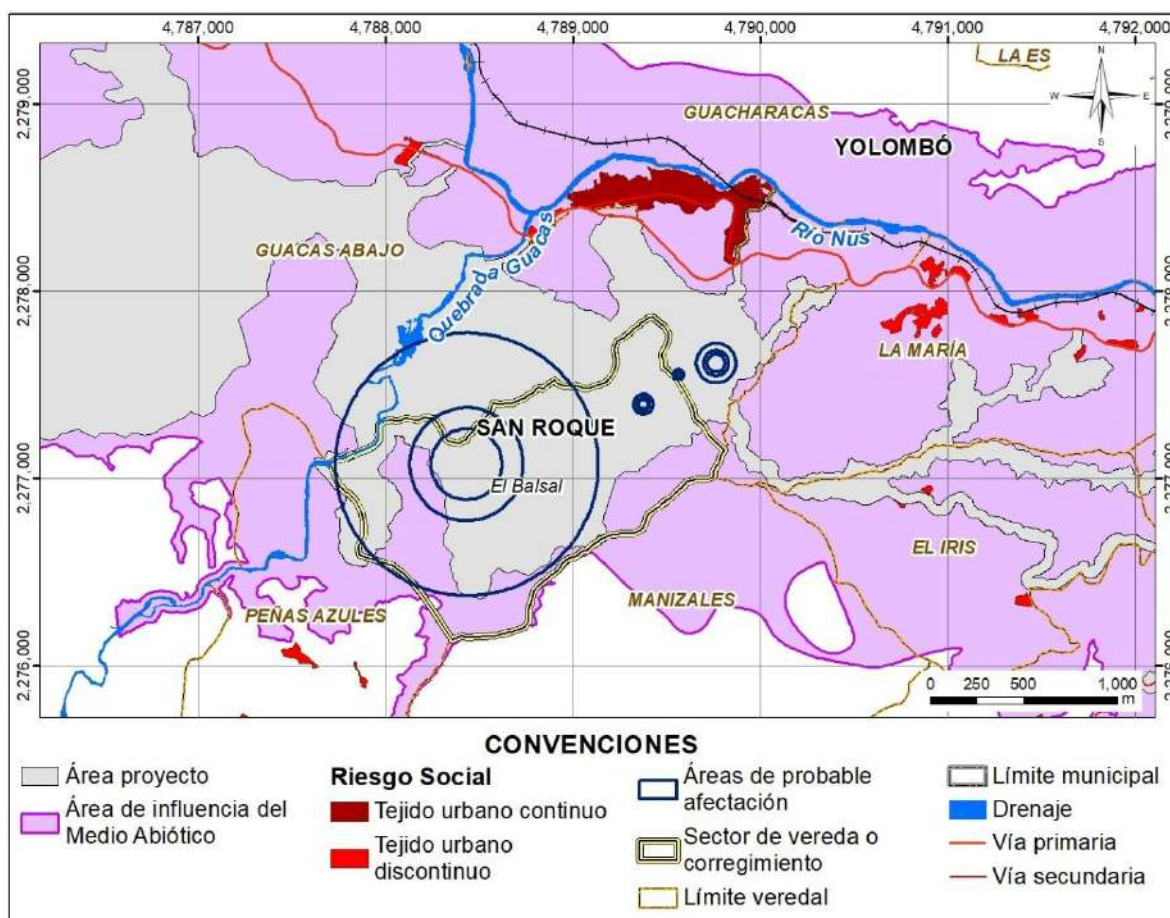


Figura 10.87 Riesgo Social

Fuente: Integral S.A., 2026

Es importante precisar que el análisis de riesgo social desarrollado en este apartado se realiza específicamente a partir de las áreas de probable afectación asociadas a los escenarios de riesgo tecnológico. Esto no significa que los demás escenarios de riesgo identificados en el presente Plan de Gestión del Riesgo no generen posibles afectaciones sobre elementos expuestos del componente social. Por el contrario, dichas afectaciones

han sido consideradas en las respectivas tablas de análisis de consecuencias para cada uno de los escenarios de riesgo evaluados.

En este sentido, se aclara que, desde una perspectiva integral del riesgo, sí se reconoce la existencia de riesgo sobre el componente social; sin embargo, el análisis de riesgo social presentado en este apartado tiene como alcance específico la valoración de las posibles afectaciones sobre los elementos expuestos localizados dentro de las áreas de probable afectación de los escenarios de riesgo tecnológico, tal como fue explicado previamente.

III. Riesgo Socioeconómico

El análisis del riesgo socioeconómico para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se desarrolló a partir de las Áreas de Probable Afectación (APA) obtenidas en el análisis de consecuencias del riesgo tecnológico, con el propósito de identificar la posible afectación sobre los elementos expuestos asociados a las actividades productivas presentes en el área de influencia del proyecto.

Para este análisis se consideraron como elementos expuestos del componente socioeconómico aquellos relacionados con el aprovechamiento económico del territorio y el sustento de la población local, entre los que se incluyen las áreas destinadas a cultivos, los potreros asociados a actividades pecuarias y demás sistemas productivos identificados durante la caracterización socioeconómica.

Los resultados de la modelación muestran que los escenarios correspondientes al incendio del transformador de aceite, incendio del tanque de almacenamiento de diésel e incendio en la planta de proceso – espumador MIBC presentan radios de afectación confinados al interior de las áreas destinadas a la infraestructura del proyecto, por lo que no se identifican elementos expuestos del componente socioeconómico dentro de sus Áreas de Probable Afectación.

Por el contrario, el escenario de explosión en el polvorín presenta un radio de afectación que trasciende el límite de las instalaciones proyectadas e intercepta parcialmente áreas destinadas a cultivos de caña y potreros utilizados para actividades ganaderas, configurando una posible afectación sobre sistemas productivos localizados en el entorno del proyecto.

Las consecuencias potenciales para estos elementos se relacionan principalmente con los efectos de la sobrepresión generada por el escenario de explosión, la cual podría ocasionar daños localizados sobre los sistemas productivos y generar interrupciones temporales en las actividades agropecuarias desarrolladas dentro de las áreas de afectación. La magnitud de estas consecuencias depende de la extensión de la superposición entre las Áreas de Probable Afectación y los elementos expuestos identificados.

Con base en la interacción entre las Áreas de Probable Afectación y los elementos expuestos, se realizó la valoración cualitativa del riesgo socioeconómico mediante los criterios establecidos para este componente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 10.112.

Tabla 10.112 Categorías de aceptabilidad del riesgo socioeconómico

Nivel de riesgo	Criterios de valoración del riesgo Socioeconómico	Criterios de aceptabilidad del riesgo
Alto	Pérdida extensa de áreas productivas con afectación significativa sobre los medios de vida o interrupción prolongada de la actividad agropecuaria.	Riesgo inaceptable. Requiere medidas inmediatas de reducción del riesgo y fortalecimiento de la capacidad de respuesta.
Medio	Afectación parcial de cultivos o áreas de pastoreo, con posibilidad de recuperación mediante rehabilitación o reposición de la producción.	Riesgo tolerable. Requiere medidas preventivas, seguimiento y estrategias de recuperación.
Bajo	Afectaciones localizadas y de baja magnitud sobre sistemas productivos, con recuperación natural o mediante intervenciones menores.	Riesgo aceptable. Requiere seguimiento dentro de los programas de gestión del proyecto.

Fuente: Integral S.A., 2026

De acuerdo con los resultados obtenidos, los elementos expuestos del componente socioeconómico interceptados por las Áreas de Probable Afectación del escenario de explosión en el polvorín presentan niveles de riesgo medio en los sectores donde existe superposición directa con las áreas de afectación y bajo en las zonas adyacentes, donde la intensidad de las consecuencias disminuye progresivamente con la distancia respecto al foco del evento.

Aunque las afectaciones potenciales se restringen a un número limitado de sistemas productivos y no comprometen infraestructura económica de carácter estratégico ni centros de prestación de servicios, los resultados evidencian la necesidad de mantener las medidas de prevención y control asociadas al manejo de explosivos, así como los mecanismos de respuesta y recuperación previstos en el Plan de Gestión del Riesgo para atender oportunamente cualquier afectación sobre los medios de producción local.

La distribución espacial de los elementos expuestos y los niveles de riesgo identificados se presentan en la Figura 10.88 (Mapa de Riesgo Socioeconómico).

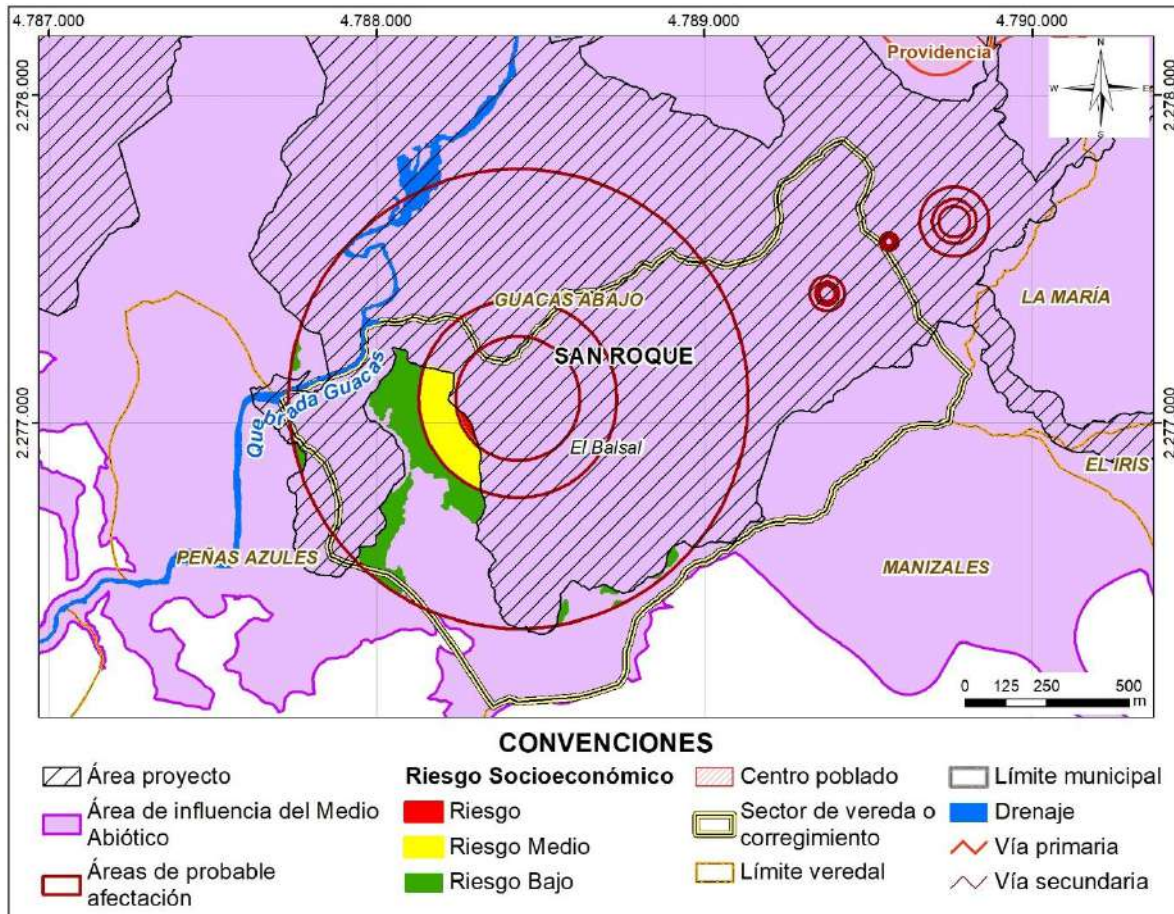


Figura 10.88 Riesgo Socioeconómico

Fuente: Integral S.A., 2026

IV. Riesgo Individual

Según la definición de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), el riesgo individual corresponde a la probabilidad de que una persona experimente daños específicos como consecuencia de su exposición a uno o varios peligros. Para el presente análisis, este componente se evaluó considerando la posible afectación sobre los trabajadores, contratistas, visitantes y demás personal autorizado que desarrolla actividades dentro del área de intervención del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Es importante precisar que el análisis de riesgo individual desarrollado en el presente Plan de Gestión del Riesgo corresponde exclusivamente a la valoración del riesgo al que se encuentra expuesto el personal que desarrolla actividades al interior del Proyecto Gramalote. En este sentido, el concepto de riesgo individual empleado en este análisis hace referencia a los trabajadores y al personal contratista que, en función de sus actividades laborales, permanecerán o transitarán dentro de las áreas operativas del proyecto y, por tanto, pueden encontrarse expuestos a los diferentes escenarios de riesgo identificados. En consecuencia, la valoración del riesgo individual representa la probabilidad de afectación

de una persona perteneciente a esta población trabajadora como consecuencia de la materialización de los escenarios de riesgo evaluados.

A diferencia de los componentes ambiental, social y socioeconómico, el riesgo individual no depende de la existencia de elementos territoriales expuestos, sino de la presencia de personas dentro de las Áreas de Probable Afectación (APA) definidas a partir del análisis de consecuencias de los escenarios de riesgo tecnológico. En este sentido, el análisis considera la ocupación permanente o temporal de las diferentes instalaciones del proyecto y las áreas donde se desarrollan actividades constructivas, operativas y de mantenimiento.

Los resultados del análisis de consecuencias evidencian que los escenarios de incendio del transformador de aceite, incendio del tanque de almacenamiento de diésel, incendio en la planta de proceso – espumador MIBC y explosión en el polvorín presentan Áreas de Probable Afectación que se desarrollan principalmente al interior del área de intervención del proyecto, donde existe presencia de personal durante las diferentes fases de ejecución.

Las consecuencias potenciales para las personas expuestas se encuentran asociadas a los efectos físicos modelados para cada escenario, entre ellos la radiación térmica, la sobrepresión y, cuando aplica, la exposición a sustancias peligrosas. Dependiendo de la intensidad del fenómeno y de la proximidad al punto de origen del evento, estas consecuencias pueden variar desde lesiones leves hasta afectaciones graves o potencialmente fatales, razón por la cual el riesgo individual constituye uno de los componentes prioritarios dentro de la gestión del riesgo tecnológico del proyecto.

Con base en la interacción entre las Áreas de Probable Afectación y las zonas de presencia del personal, se realizó la valoración cualitativa del riesgo individual utilizando los criterios definidos para este componente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 10.113.

Tabla 10.113 Criterios metodológicos para la valoración cualitativa del riesgo individual

Nivel de riesgo	Criterios de valoración del riesgo individual	Criterios de aceptabilidad del riesgo
Alto	Alta probabilidad de lesiones graves o muerte debido a exposición directa a eventos críticos (explosiones, incendios, derrames tóxicos). Las condiciones de vulnerabilidad personal son elevadas y los tiempos de respuesta son insuficientes.	Riesgo inaceptable. Requiere control inmediato, capacitación reforzada, medidas de ingeniería y protocolos de seguridad estrictos.
Medio	Posibilidad de lesiones moderadas o reversibles derivadas de la exposición a amenazas naturales o tecnológicas de intensidad media. Las condiciones de vulnerabilidad pueden ser gestionadas mediante medidas preventivas y respuesta oportuna.	Riesgo tolerable. Requiere fortalecimiento de capacidades de respuesta, simulacros y mantenimiento de sistemas de alerta.
Bajo	Baja probabilidad de afectación física o psicológica. Exposición indirecta a amenazas controladas o con baja frecuencia. Existencia de medidas efectivas de protección individual y colectiva.	Riesgo aceptable. Requiere mantenimiento preventivo, señalización y vigilancia continua del entorno de trabajo.

Fuente: Integral S.A., 2026

De acuerdo con los resultados obtenidos, el riesgo individual presenta un comportamiento directamente relacionado con la intensidad de las consecuencias modeladas para cada escenario tecnológico. En las zonas de mayor proximidad al origen del evento se identifican niveles de riesgo alto, debido a la posibilidad de que las personas expuestas sufran lesiones graves o fatales como consecuencia de la radiación térmica o la sobrepresión generada por incendios y explosiones. A medida que aumenta la distancia respecto al foco del evento, la intensidad de las consecuencias disminuye, clasificándose el riesgo como medio en las áreas de afectación intermedia y bajo en los sectores correspondientes al límite exterior de las Áreas de Probable Afectación.

Es importante resaltar que esta valoración representa un escenario potencial derivado de la modelación de consecuencias y no considera la implementación de las medidas de prevención y control previstas por el proyecto. En condiciones normales de operación, la aplicación de los controles de ingeniería, los sistemas de detección y protección contra incendios, los procedimientos de trabajo seguro, las restricciones de acceso, los programas de capacitación y entrenamiento, así como la ejecución del Plan de Emergencias y Contingencias, reducen significativamente la probabilidad de exposición del personal y, en consecuencia, el nivel de riesgo individual asociado a estos escenarios.

La distribución espacial de los niveles de riesgo individual obtenidos para los diferentes escenarios de riesgo tecnológico se presenta en la Figura 10.89 (Mapa de Riesgo Individual).

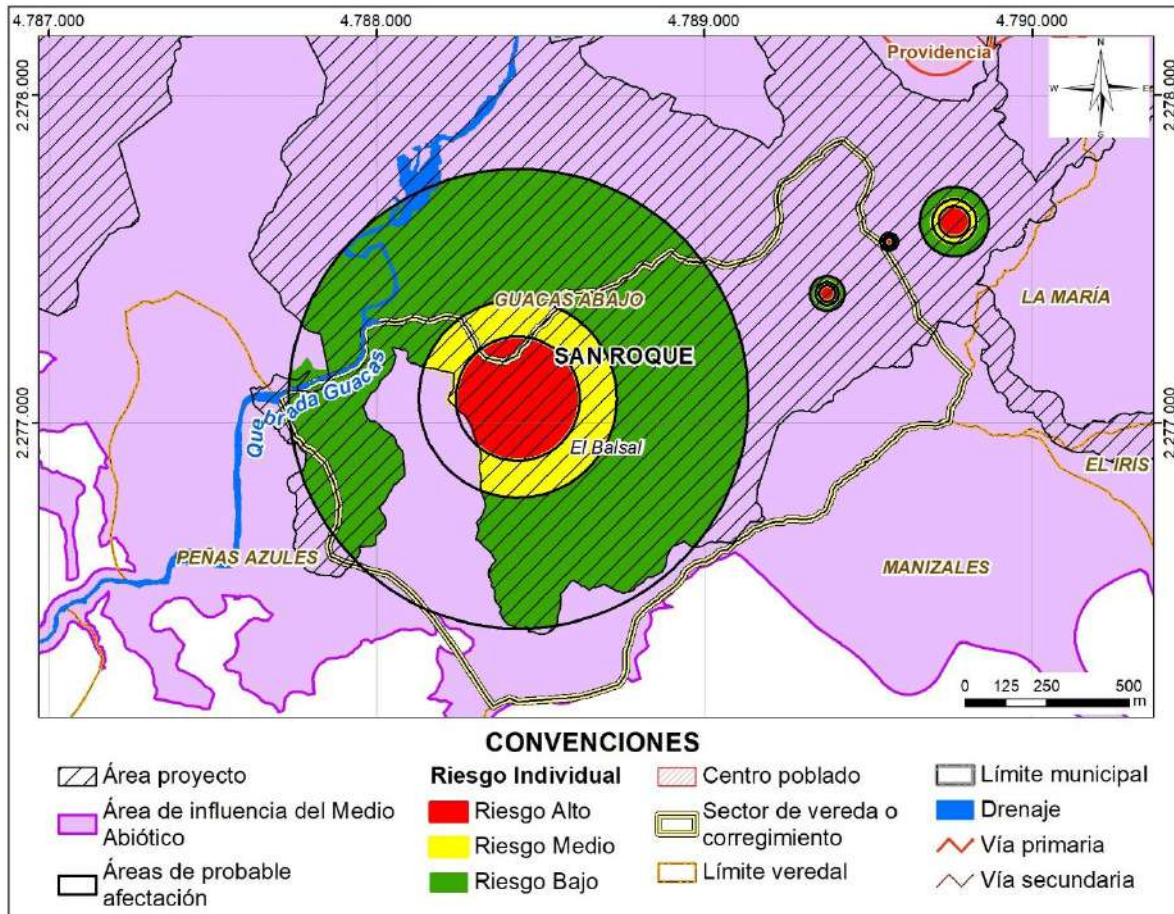


Figura 10.89 Riesgo individual

Fuente: Integral S.A., 2026

e. Monitoreo del Riesgo

Este capítulo presenta el enfoque metodológico para el subproceso de monitoreo del riesgo asociado a los escenarios identificados en el proyecto minero Gramalote. El programa integra componentes geotécnicos, hidráulicos y ambientales aplicables a los diferentes frentes de obra, y se organiza de forma progresiva desde el alcance general del monitoreo hasta la definición de alertas, frecuencias, acciones de seguimiento y recomendaciones específicas para la fase de cierre en las obras más relevantes.

I. Sistema de monitoreo e instrumentación

Para facilitar el seguimiento a la seguridad de las obras, el programa se organiza por frentes. El desarrollo minero incluye plataformas, depósitos de estériles, depósitos de material sobrante de construcción o también denominado ZODME, sedimentadores, tajo o pit, sistema de manejo de relaves (incluyendo la presa de colas y sus estructuras de decantación), vías y accesos, sistema de desviación del Guacas (incluyendo los tramos en túnel, canal y la presa de tierra) y demás componentes que requieran seguimiento durante construcción, operación, cierre y post-cierre.

Con base en los ajustes que realicen en el diseño definitivo, el proyecto deberá contar con un manual de monitoreo que deberá contener, discretizado por los frentes principales, la siguiente información asociado con la instrumentación:

- Plano de localización de la instrumentación.
- Identificación única de cada instrumento.
- Tipo de instrumento (tecnología de funcionamiento).
- Coordenadas o localización georreferenciada.
- Elevación en cota (cuando aplique).
- Zona geotécnica o sector de monitoreo.
- Variable monitoreada.
- Fecha de instalación del instrumento.
- Estado operativo del instrumento.
- Protocolos de mantenimiento y reemplazo de los instrumentos.

La información podrá administrarse mediante planos, perfiles longitudinales, secciones transversales, entre otras, según corresponda al tipo de infraestructura.

i. Monitoreo para obras objeto de modificación de licencia

La Tabla 10.114 presenta la localización de la instrumentación y los sistemas de monitoreo recomendados por tipo de obra y etapa del proyecto, en el diseño de factibilidad. En ella, el lector encontrará los componentes objeto de seguimiento, los planos de referencia disponibles y las estrategias de monitoreo sugeridas para construcción, operación, cierre y post-cierre. Las frecuencias generales recomendadas se presentan en la Tabla 10.117, las cuales serán definidas en función del estado de alerta en que se encuentre la obra. Se presentarán frecuencias detalladas para el sistema de colas en la Tabla 10.115.

Tabla 10.114 Localización de la instrumentación y sistemas de monitoreo por tipo de obra y etapa del proyecto-Obras Objeto de modificación

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
Plataforma Principal: Planta, Servicio, Trituración	Monitoreo topográfico e inspecciones de campo.	I-P-0010719-PT-GG-PLA-040_080-R00	<p>Piezómetros de tubo abierto y respuesta de rellenos/fundaciones donde aplique.</p> <p>Control topográfico de asentamientos y desplazamientos en plataformas, rellenos y taludes.</p> <p>Inspecciones geotécnicas periódicas para identificar grietas, erosión, deformaciones, surgencias o filtraciones.</p> <p>Inspección y mantenimiento de cunetas, canales, subdrenes y obras de manejo de aguas.</p> <p>En sectores críticos, complementar con hitos/prismas u otra instrumentación definida por el diseño geotécnico.</p>	<p>Mantener el monitoreo piezométrico y topográfico durante el desmantelamiento y conformación final del terreno</p> <p>Inspeccionar superficies rehabilitadas y áreas revegetadas.</p> <p>Inspecciones periódicas de las áreas conformadas para verificar estabilidad física e hidrológica, incluyendo erosión, deformaciones, asentamientos, condición de taludes y funcionamiento de drenajes permanentes.</p> <p>La frecuencia podrá reducirse progresivamente una vez demostradas</p>

¹ Se indican los planos de factibilidad, pero estos podrán ser sustituidos por planos de ingeniería de detalle para construcción o de ajustes durante construcción

² Durante la etapa de cierre podrá mantenerse la instrumentación operativa desde la etapa de operación. Cuando sea necesario, los instrumentos dañados, averiados o fuera de servicio podrán ser sustituidos por sensores equivalentes o de mejor desempeño, o complementarse con nuevos dispositivos que fortalezcan el sistema de instrumentación y monitoreo.

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
				tendencias estables y cumplimiento de los criterios de cierre.
Depósitos ZODME	Monitoreo topográfico e inspecciones de campo.	Planos con raíz I-P-0010719-ZM-GG	<p>Piezómetros de tubo abierto, según diseño.</p> <p>Inclinómetros en sectores con mecanismos de potenciales de desplazamiento.</p> <p>Control topográfico de desplazamientos y asentamientos mediante hitos/prismas.</p> <p>Inspecciones geotécnicas.</p> <p>Seguimiento del sistema de drenaje.</p>	<p>Mantener piezómetros, y control topográfico durante la conformación final hasta comprobar que presentan comportamiento estable. Verificar estabilidad de taludes, bermas y fundación; funcionamiento de drenajes y subdrenes; control de erosión; y desempeño de cobertura y revegetación.</p> <p>Realizar inspecciones extraordinarias después de eventos de precipitación relevantes o cuando se identifiquen anomalías.</p>
Depósitos de estériles San Antonio y El Balzal	Monitoreo topográfico de conformación del depósito. Inspecciones	San Antonio: planos 801 y 802 del plan de cierre conceptual. El Balzal: planos 803 y 804 del plan de cierre	Monitoreo geotécnico: control topográfico de desplazamientos y asentamientos mediante hitos/prismas; piezómetros para presión de poros/nivel	<p>Mantener piezometría y control topográfico</p> <p>Control de estabilidad de taludes.</p>

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
	geotécnicas de campo. Verificación de taludes, bermas, drenajes y condiciones de fundación.	conceptual. Instrumentación de operación asociada a planos 701, 702 y 703	freático; inclinómetros donde el diseño geotécnico identifique sectores críticos. Monitoreo hidráulico: inspección de cunetas, canales, subdrenes y puntos de descarga; control de caudales de infiltración y filtraciones. Monitoreo ambiental: calidad de aguas de contacto, escorrentías y filtraciones; inspecciones de erosión, grietas, etc.	Seguimiento de filtraciones y calidad de aguas. Verificación del desempeño de coberturas, suelo orgánico y revegetación. Inspecciones después de lluvias intensas. Durante la etapa de cierre y poscierre, se realizará de manera semestral monitoreos de calidad de agua en las principales corrientes de agua superficiales cercanas a estas estructuras y se mantendrán las estaciones de monitoreo de niveles de agua.
Sedimentadores San Antonio y El Banco	Monitoreo topográfico e inspecciones durante construcción. Verificación de geometría, taludes, estructuras hidráulicas, canales de	Planos 301 a 308 para sedimentadores, presas, canales, vertederos y estructuras asociadas	Monitoreo topográfico, control de niveles de agua y borde libre, monitoreo de caudales de descarga, seguimiento de calidad del agua e inspecciones de campo. Medición de acumulación de sedimentos y verificación de	Cierre: los sedimentadores para la etapa de cierre se dejarán colmatar hasta que pierdan su utilidad y entrarán en un proceso de revegetalización, durante este proceso, se continuará con el control de niveles, seguimiento a los

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
	entrada/salida y sistemas de descarga.		capacidad disponible. Seguimiento de calidad del agua descargada. Inspección de erosión, socavación, filtraciones y condición de taludes.	caudales de descarga y calidad del agua con monitoreo anual y seguimiento permanente de niveles; estabilidad de taludes y rellenos; inspección de drenajes permanentes; control de erosión y sedimentos; seguimiento de las áreas rehabilitadas/revegetadas. Seguimiento de calidad de agua anual mientras exista potencial de afectación.
Sedimentador La Colorada y Sistema de canales asociados	Celdas de asentamiento y piezómetros instalados dentro de los llenos. Monitoreo topográfico e inspecciones de campo.	I-P-0010719-SC-GG-PSC-020_030-R00 y Planos 803 y 804 del plan de cierre conceptual del depósito El Balzal; planos 501 a 506, 513, 514 y 515 para obras de manejo de aguas asociadas.	Piezómetros de Cuerda Vibrante, Inclínómetros. Monitoreo topográfico. Control de caudales de escorrentía y descarga. Control de niveles de agua y borde libre. Seguimiento de calidad del agua. Inspecciones de campo.	Cierre: los sedimentadores para la etapa de cierre se dejarán colmatar hasta que pierdan su utilidad y entrarán en un proceso de estabilización y revegetalización, durante este proceso, se mantendrá piezometría, topografía e inclinometría mientras se alcance

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
				<p>la configuración final estable</p> <p>se continuará con el control de niveles, seguimiento a los caudales de descarga y calidad del agua con monitoreo anual y seguimiento permanente de niveles</p> <p>Monitoreo geotécnico mientras sea relevante para demostrar estabilidad.</p> <p>Post Cierre: Inspección periódica de canales y drenajes permanentes; control de erosión y estabilidad de rellenos; seguimiento de caudales y calidad del agua en puntos de descarga.</p> <p>Seguimiento de revegetación. Reducción progresiva de instrumentación una vez demostrada estabilidad.</p>
PIT o Tajo	Mapeo geológico-geotécnico	Instrumentación y ubicación para	Monitoreo de estabilidad de taludes: prismas/estaciones	Monitoreo de estabilidad de los taludes finales

Tipo de obra	Sistema de monitoreo recomendado -Etapa Construcción	Plano con Instrumentación- Etapa Operación ¹	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Operación	Sistema de monitoreo recomendado- Etapa Cierre y Post Cierre ²
	de bancos conforme progresa la excavación. Control topográfico. Instalación progresiva de instrumentación geotécnica e hidrogeológica. Monitoreo de niveles freáticos y respuesta del macizo al avance del tajo.	definir/actualizar conforme al diseño geotécnico e hidrogeológico del tajo	topográficas o GNSS; radar de estabilidad de taludes en sectores críticos cuando corresponda; extensómetros/inclinómetros según mecanismos de falla identificados; inspecciones geotécnicas y mapeo de grietas/desprendimientos. Hidrogeología: piezómetros y pozos de observación para niveles y presión de agua; Inspecciones extraordinarias después de lluvias intensas.	mediante inspección geotécnica y puntos de control seleccionados. Para el lago del tajo: nivel, balance hídrico y calidad del agua, incluyendo parámetros asociados al comportamiento geoquímico del macizo. Control de rebose o descarga. Inspección de erosión, desprendimientos y seguridad física del perímetro.

Fuente: Modificado por Integral S.A., 2025

Las vías, accesos y plataformas menores, requieren un seguimiento flexible y proporcional a su criticidad. Por eso, durante construcción se recomienda monitoreo topográfico e inspecciones de campo, y la instrumentación adicional deberá definirse si el diseño definitivo así lo exige, las condiciones geológicas inicialmente proyectadas varían o si el avance de obra evidencia deformaciones, grietas, saturación, inestabilidad, erosión o cualquier condición anómala que requiera ser monitoreada.

Para la etapa de cierre y post cierre, Las plataformas menores asociadas a Zodmes, se contempla su cierre en el marco del cierre progresivo, proyectado a realizarse durante el primer año de operación. El proceso de cierre consistirá en la revegetalización de estas plataformas y la construcción de obras de drenaje de agua. Como seguimiento y monitoreo, se proponen inspecciones periódicas y monitoreos topográficos

Como complemento a la Tabla 10.114, se aclara que en el sector de La María se encuentran las obras objeto de modificación denominadas depósito R, depósito El Torito y vía de acceso al depósito El Torito. Durante la construcción de estas tres obras, se deberá realizar

monitoreo topográfico e inspecciones de campo, definidos en obra según el avance y las necesidades identificadas durante la construcción. Como parte de esta etapa, se deberá controlar la ejecución rigurosa de todas las obras de subdrenaje y drenaje superficial, así como los controles de compactación indicados en los planos de diseño de cada obra. Los planos de diseño geométrico, geotécnico e hidráulico para las etapas de operación, cierre y post cierre, de los depósitos corresponden a los códigos I-P-0010719-ZM-GG-DMR-020 y I-P-0010719-ZM-GG-DMT-020, I-P-0010719-ZM-DG-DMR-010 y I-P-0010719-ZM-DG-DMT-010. Los planos de diseño de la Vía Torito corresponden a los códigos I-P-0010719-VI-DG-ATO-010_020 y I-P-0010719-VI-GG-ATO-030. Dichos planos se encuentran anexos a los capítulos 3 DESCRIPCIÓN y 5_1_7 GEOTECNIA de la presente solicitud de modificación de licencia.

Para la etapa de operación y cierre de los depósitos ZODME R y El Torito, deberá implementarse instrumentación del tipo piezómetro de cuerda vibrante e inclinómetros, además de inspecciones de campo, con frecuencias ajustadas según el nivel de alerta aplicable, de acuerdo con la Tabla 10.116 y Tabla 10.117. Tal como se indica en la Tabla 10.117, para todo el sector (incluyendo las obras licenciadas y en proceso de modificación de licencia), en caso de que la instrumentación o las inspecciones evidencien que estas obras se encuentran en alerta roja, se deberá activar el plan de emergencia del proyecto con el fin de proteger la vida y el medio ambiente de los colaboradores ubicados alrededor de las obras y de las comunidades aledañas, teniendo en cuenta el mapeo de elementos vulnerables indicado en el numeral 10.1.3.1.3 Contexto del proceso de Gestión del Riesgo (Criterios del riesgo).

ii. Monitoreo para obras no objeto de modificación

Para las obras ya licenciadas, como el sistema de colas (que incluye la presa de colas y las obras de decantación), el túnel de desviación y canal asociada a la quebrada Guacas y demás componentes mayores, se implementará también un esquema de monitoreo diferenciado por etapa, articulado con lo establecido en el EIA vigente, la ingeniería de detalle y los requerimientos derivados de la modificación del instrumento ambiental.

- Sistema de desviación del Guacas

Durante la etapa de construcción del sistema de desviación del Guacas, incluyendo el túnel, el canal, así como de la presa de tierra, se deberá implementar monitoreo topográfico, inspecciones geotécnicas e hidráulicas de campo y verificación de las condiciones observadas durante el avance de las excavaciones, conformación de llenos, construcción de estructuras de control y manejo de aguas. Estas actividades deberán ajustarse a la secuencia constructiva, a la criticidad de cada componente y a las necesidades identificadas en obra, con el fin de detectar oportunamente deformaciones, inestabilidades, filtraciones, erosión, obstrucciones, cambios en el comportamiento hidráulico o cualquier condición que pueda afectar la estabilidad y funcionalidad de las obras.

Durante la etapa de operación, se recomienda implementar un sistema de monitoreo geotécnico compuesto, como mínimo, por piezómetros de cuerda vibrante, inclinómetros, monitoreo topográfico, monitoreo de caudales de infiltración e inspecciones de campo. Este sistema permitirá hacer seguimiento a las variaciones de presión de poros, deformaciones, desplazamientos superficiales, caudales de filtración y condiciones observadas en terreno.

Durante la etapa de cierre, se recomienda mantener el monitoreo mediante piezómetros, inclinómetros, medición de caudales de infiltración e inspecciones de campo, con el fin de verificar la estabilidad física e hidráulica de las obras y detectar oportunamente cualquier cambio en su comportamiento posterior a la operación.

- Presa de relaves o colas

Para la presa de colas se requiere de la instalación de instrumentación con el fin de monitorear la respuesta sísmica de la misma, los niveles freáticos y controlar las filtraciones y las deformaciones de la cimentación de la presa; a continuación, se presenta la instrumentación propuesta.

Sismógrafos: Se implementan con el fin de monitorear y medir la aceleración en sitio de los movimientos sísmicos dos sismógrafos, uno de ellos se localizará en la roca y el otro en la cresta de la presa, sin embargo, el punto de localización será variable ya que se deben ir reubicando durante la etapa de construcción a medida que se va avanzando en la mismo.

Piezómetros de cuerda vibrante: Se implementan con el fin de monitorear el funcionamiento del drenaje en la presa, este monitoreo constará de una red de entre 20 y 35 piezómetros localizados en las perforaciones desarrolladas (en la presa de arranque y en la presa de arenas).

Celdas de asentamiento: Su función es monitorear la deformación tanto en la cimentación como en la sección de la presa de arranque, para esto se localizarán 3 celdas en la cimentación de la presa y 2 en la sección de máxima altura de esta.

Controles topográficos: Se encargan de la medición de las deformaciones producto de la consolidación de los suelos y a la fuerza que ejercen los relaves en la presa, para esto se proponen 28 controles, los cuales se distribuirán a lo largo del eje de la cresta y en el talud aguas abajo.

- Depósito de colas

Adicionalmente, para el depósito de colas se propone la implementación de instrumentación con el fin de monitorear y evaluar la estabilidad física de la misma; a continuación, se presenta la instrumentación propuesta:

Estación climática y pluviométrica: Se instalará una estación que mida diariamente los parámetros de pluviometría, evaporimetría, temperatura máxima, mínima, ambiente, húmeda y seca y velocidad y dirección del viento.

Piezómetros: Se implementan con el fin de medir los niveles de agua al interior de la estructura y las variaciones que presentan ante eventos sísmicos; para esto se plantea la implementación de piezómetros eléctricos que se encuentren conectados a equipos lectores (se recomienda un equipo cada 3 o 4 piezómetros), instalación de piezómetros de tubo para comparación y calibración y piezómetros eléctricos dinámicos conectados a acelerógrafos para la activación de estos.

Celdas de asentamiento: La función de las celdas será medir los desplazamientos verticales asociados a asentamientos y deformaciones que podría llegar a presentar el depósito y así inferir cualquier cambio que pueda presentarse en las cimentaciones.

Acelerógrafos: Se propone la instalación de un acelerógrafo cuya localización será variable, ya que se desplazará periódicamente a lo largo de la cresta.

- Parámetros específicos para el sistema de relaves

La Tabla 10.115 consolida los parámetros de monitoreo del sistema de manejo de relaves y las frecuencias mínimas recomendadas para construcción, operación, cierre y post-cierre

Tabla 10.115 Parámetros de monitoreo para el sistema de manejo de relaves

Parámetro	Frecuencia	
	Construcción y operación	Cierre-postcierre
Meteorología	Diario / continuo mediante estación meteorológica	Cierre: continuo o diario. Post-cierre: continuo durante los 2.5 años de duración de esta etapa
Lectura piezómetros	Diario, automatizado donde corresponda	Cierre: semanal durante conformación final y estabilización inicial. Post-cierre: semanal durante el primer año; mensual años durante el tiempo restante 2.5; Mantener hasta demostrar estabilización de niveles y presiones de poros.
Celdas de asentamiento	Semanal	Cierre: semanal durante conformación final y período inicial de consolidación; posteriormente mensual. Post-cierre: trimestral durante los 2.5 años, pudiendo reducirse o finalizar cuando se demuestre estabilización de asentamientos.
PM10 y PM2.5	Las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) se desarrollarán considerando lo expuesto en la Resolución 2254 de 2017 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) adoptado y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. Para ello se utilizarán equipos autónomos PQ200, los cuales operarán de forma permanente en 6 sitios	Las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) se desarrollarán considerando lo expuesto en la Resolución 2254 de 2017 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) adoptado y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. Para ello se utilizarán equipos autónomos PQ200, los

Parámetro	Frecuencia	
	Construcción y operación	Cierre-postcierre
	seleccionados para todo el proyecto, con muestreos de 24 horas y frecuencia mínima cada 6 días. Los resultados obtenidos, serán comparados con los niveles máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017 o la que la modifique.	cuales operarán de forma permanente en 6 sitios seleccionados para todo el proyecto, con muestreos de 24 horas y frecuencia mínima cada 6 días. Los resultados obtenidos, serán comparados con los niveles máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017 o la que la modifique. Estas condiciones se mantendrán durante la etpa de cierre y Poscierre
Volumen total de colas	Continua	Cierre: caracterización final de las colas depositadas y materiales de cobertura; mensual durante actividades de cierre cuando exista manejo de colas. Post-cierre: no requiere medición directa de las colas de forma rutinaria; se hace en forma indirecta.
pH de las colas	Continua	Cierre: caracterización final de las colas depositadas y materiales de cobertura; mensual durante actividades de cierre cuando exista manejo de colas. Post-cierre: no requiere medición directa de las colas de forma rutinaria; se hace en forma indirecta.
Concentración de las colas (densidad)	Continua	Cierre: seguimiento hasta finalizar la disposición de colas y registro de densidad final de disposición. Post-cierre: no aplica como parámetro operacional. La evolución de consolidación se

Parámetro	Frecuencia	
	Construcción y operación	Cierre-postcierre
		controla mediante asentamientos, piezometría y comportamiento geotécnico.
Presión de la tubería de colas	Continua	Cierre: continuo mientras opere el sistema de transporte de colas durante las actividades finales. Post-cierre: no aplica una vez desmantelado/desactivado el sistema de transporte.
Flujo de agua (al ciclón)	Continua	Cierre: continuo mientras permanezca operativo el sistema de ciclonado. Registrar balance final de operación. Post-cierre: no aplica una vez finalizado el ciclonado.
Composición química de las colas y de las filtraciones	Semanal	Cierre: mensual para filtraciones y caracterización representativa final de las colas. Post-cierre: trimestral durante los 2.5 años mientras sea necesario para demostrar estabilidad química.
Volumen del pozo de sobrenadantes	Semanal	Cierre: semanal durante reducción/eliminación del agua sobrenadante. Post-cierre: mensual mientras exista agua libre o sea necesario operar el sistema;
Calidad del agua en el pozo de sobrenadantes	Anual	Anual
Volumen de filtraciones	Semanal	Cierre: semanal durante la conformación final y estabilización inicial. Post-cierre: mensual durante los 2.5 años; Mantener hasta demostrar

Parámetro	Frecuencia	
	Construcción y operación	Cierre-postcierre
		comportamiento estable del sistema de drenaje y filtraciones.
Calidad de agua subterránea y superficial	Trimestral, con puntos aguas arriba y aguas abajo representativos del depósito y obras asociadas	Anual
Monitoreo de calidad de aire	Las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) se desarrollarán considerando lo expuesto en la Resolución 2254 de 2017 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) adoptado y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. Para ello se utilizarán equipos autónomos PQ200, los cuales operarán de forma permanente en 6 sitios seleccionados para todo el proyecto, con muestreos de 24 horas y frecuencia mínima cada 6 días. Los resultados obtenidos, serán comparados con los niveles máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017 o la que la modifique.	Las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) se desarrollarán considerando lo expuesto en la Resolución 2254 de 2017 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) adoptado y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. Para ello se utilizarán equipos autónomos PQ200, los cuales operarán de forma permanente en 6 sitios seleccionados para todo el proyecto, con muestreos de 24 horas y frecuencia mínima cada 6 días. Los resultados obtenidos, serán comparados con los niveles máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017 o la que la modifique.
Monitoreo de Flora	Seguimiento conforme al programa de manejo y compensación/revegetación	Cierre: anual durante establecimiento de la rehabilitación. Post-cierre: anual durante los 2.5 años
Monitoreo de Fauna	Seguimiento conforme al programa de manejo biótico	Cierre: anual. Post-cierre: anual durante los 2.5 años, o durante el período establecido en el programa biótico.

Parámetro	Frecuencia	
	Construcción y operación	Cierre-postcierre
Áreas revegetalizadas	Seguimiento progresivo de las áreas rehabilitadas durante operación	Cierre: semestral durante el establecimiento inicial de la vegetación. Post-cierre: anual durante los 2.5 años como mínimo, verificando cobertura, supervivencia, erosión, especies invasoras y necesidad de resiembra/mantenimiento;

Fuente: Modificado por Integral S.A., 2025

iii. Inspecciones de campo generales

Esta sección consolida los criterios generales de inspección aplicables a todos los componentes del proyecto Minero; las particularidades del sistema de relaves se presentan en la sección “Inspecciones de campo específicas para el sistema de relaves”.

Durante las inspecciones deberán registrarse, según corresponda:

- Grietas y fisuras.
- Escarpes.
- Hundimientos.
- Asentamientos.
- Deformaciones.
- Filtraciones.
- Surgencias.
- Zonas saturadas.
- Erosión.
- Socavación.
- Obstrucciones.
- Acumulación de sedimentos.
- Deterioro de drenajes.
- Cambios en la geometría de las estructuras.
- Afectación de la cobertura vegetal.
- Deformaciones estructurales.
- Estado de los revestimientos en túneles.

- Cualquier otra condición que pueda representar un deterioro del comportamiento geotécnico e hidráulico.

La inspección deberá realizarse mediante recorridos de campo, registro fotográfico georreferenciado cuando sea posible, diligenciamiento de formatos de inspección, ubicación del hallazgo, descripción de la condición observada, recomendación de acción y seguimiento hasta el cierre del hallazgo. Las inspecciones deberán intensificarse después de lluvias intensas, sismos, reboses, cambios abruptos en las lecturas de instrumentación o cualquier evento que pueda modificar las condiciones de estabilidad o drenaje.

iv. Inspecciones de campo específicas para el sistema de relaves

El monitoreo del sistema de relaves se basa en la recolección, revisión y análisis de información proveniente de inspecciones visuales e instrumentación geotécnica, hidráulica y ambiental. Estas actividades permiten identificar oportunamente agrietamientos, asentamientos, infiltraciones, abultamientos, desplazamientos, erosión, deterioro y demás cambios relevantes en el comportamiento de las obras. La periodicidad de las actividades deberá ajustarse a la etapa del proyecto, la criticidad de cada componente, los niveles de alerta definidos en la Tabla 10.116 y las frecuencias mínimas recomendadas en la Tabla 10.117.

- Inspecciones semanales

Se deberá realizar el monitoreo de todas las caras de los depósitos de estériles, por medio de una inspección visual de sus condiciones de estabilidad, las posiciones de las crestas deben ser verificadas por medio de prismas o pines, su localización será en áreas recientes donde la estabilidad es crítica para la seguridad y operación.

- Inspecciones trimestrales

Se debe verificar las condiciones de la infraestructura y el funcionamiento de las instalaciones, abarcando los sitios de monitoreo diario y semanal; esta inspección deberá ir acompañada de un reporte de hallazgo, con el debido diligenciamiento de los formularios respectivos como anexos y el reporte de datos obtenidos en la lectura de los instrumentos, este paquete será presentado al supervisor ambiental en las 24 horas siguientes a la inspección.

- Inspecciones anuales

Esta inspección deberá ser realizada por un ingeniero geotecnista experimentado, el cual debe verificar de manera detallada las condiciones y rendimiento de las obras e instalaciones, debe abarcar todos los sitios de monitoreo trimestral; adicional a esto debe revisar los reportes trimestrales, así como los anuales de años previos proporcionando comparativos; como resultado de la inspección se presentará un informe ante el supervisor ambiental.

- Inspecciones por eventos

Ante la ocurrencia de un evento extremo que pudiera haber llegado a afectar las condiciones de estabilidad de las obras se debe realizar una inspección ingenieril detallada a cargo del ingeniero geotecnista, siguiendo y cumpliendo con lo establecido en la inspección anual.

- Revisión de seguridad de la presa de colas

Esta revisión se debe llevar a cabo después del primer llenado de la presa depósito de colas, durante el último año de operaciones y una vez cada 10 años a partir de entonces; la revisión busca identificar si ha ocurrido algún asentamiento y determinar si el depósito de colas, especialmente las estructuras de contención, presenta un margen de seguridad adecuado considerando la normativa vigente

II. Metodología para la definición y calificación de alertas

La metodología de alertas se aplica a la instrumentación instalada en cada frente de obra y permite identificar cambios relevantes en variables como niveles piezométricos, desplazamientos, deformaciones, caudales de infiltración, asentamientos, aceleraciones sísmicas, calidad del agua y condiciones observadas durante inspecciones, entre otras.

Las alertas deberán establecerse en el diseño definitivo considerando simultáneamente dos fuentes de información:

- El comportamiento esperado definido durante el diseño definitivo geotécnico, obtenido a partir de análisis de estabilidad, modelos de estabilidad, criterios hidráulicos y especificaciones técnicas y,
- El comportamiento histórico observado durante un período representativo de operación estable del instrumento (por ejemplo, los datos recopilados al final de construcción y en los primeros tres meses de operación).

El valor base se calculará como el mayor entre ambos criterios.

$$B = \max(\text{Diseño}, \text{Prom_Histórico})$$

Donde:

B: Valor base.

Diseño: Valor esperado por diseño. Este debe considerar el escenario estático, pseudo estático y escenario con lluvia, según los periodos de retorno apropiados por cada evento detonante y tipo de obra.

Prom_Histórico: Promedio histórico observado.

Para iniciar la operación, el valor base puede considerar únicamente el valor esperado de diseño. Sin embargo, una vez terminada la construcción y se entre en la fase de operación, dicho valor base también podrá considerar el promedio histórico obtenido del monitoreo geotécnico e hidráulico durante un periodo representativo (datos tomados en un periodo de hasta 3 meses después de terminar la construcción, en lo posible incluyendo meses con ocurrencia de lluvias).

Una vez determinado el valor base, se calculará la desviación estándar (σ) correspondiente a la variabilidad esperada de la lectura producto de varios factores tales como precisión del equipo, precisión en la medida, variación por ocurrencia de lluvias y condiciones de operación de la infraestructura, entre otras.

Las alertas se definirán mediante las siguientes expresiones:

Alerta Verde:

$$\text{Alerta Verde} = B + 1\sigma$$

Alerta Amarilla:

$$\text{Alerta Amarilla} = B + 2\sigma$$

Alerta Naranja:

$$\text{Alerta Naranja} = B + 3\sigma$$

Alerta Roja:

La Alerta Roja se determinará considerando desde el diseño definitivo la proyección de valores que representen una condición de materialización de un fallo. Para ello, mediante modelos de cálculos, estimaciones analíticas o criterio de experto, se podrán calcular, por ejemplo, los valores esperados de niveles piezométricos, deformaciones (medidas con inclinómetros, topografía, etc.) que lleven a que la estructura tenga un factor de seguridad de 1,0 o que lleven a que la estructura posea cualquier otra condición límite representada en deformaciones admisibles, etc. En el caso de caudales, el criterio puede ser a través de las condiciones que conduzcan a la intensificación de presiones de poros actuantes lo cual genere gradientes de trabajo que sean iguales o superiores los admisibles del material en cuestión, generando así un riesgo de erosión interna en una presa, entre otras.

La metodología de definición de los umbrales de alerta podrá modificarse en función de la experiencia que se vaya observando con el comportamiento de la obra y su instrumentación asociada, durante las fases de construcción y operación.

III. Criterios para calificación del estado de alerta

El estado de alerta de un frente de obra no deberá asignarse automáticamente por la ocurrencia de una alerta instrumental individual, sino mediante una evaluación integral realizada por el Ingeniero Especialista Responsable de Geotecnia, quien emitirá el correspondiente concepto técnico.

- Para la determinación del estado de alerta deberán considerarse, como mínimo:
- El comportamiento de toda la instrumentación instalada en el frente de obra.
- La correlación con otros instrumentos cercanos.
- La evolución temporal de las mediciones.
- La velocidad de cambio de las variables.
- Los resultados de las inspecciones geotécnicas.
- La evolución de grietas, deformaciones, filtraciones y demás evidencias superficiales.
- La influencia de lluvias, sismos, excavaciones, voladuras y demás eventos externos.
- Los resultados de análisis geotécnicos y evaluaciones de ingeniería.

- Los conceptos técnicos emitidos por los especialistas responsables.
- Siempre que sea técnicamente posible, las excedencias deberán confirmarse mediante nuevas lecturas o mediante la comparación con otros instrumentos.

En consecuencia, la existencia de una o varias alertas instrumentales no implica necesariamente que el frente de obra deba clasificarse en el mismo nivel de alerta. La calificación oficial corresponderá al resultado del análisis integral efectuado por el Ingeniero Especialista a cargo.

La Tabla 10.116 presenta los criterios para la calificación integral del estado de alerta en el proyecto Gramalote. Esta tabla permite relacionar cada nivel de alerta con su denominación, descripción general y criterios técnicos de asignación, por lo que sirve como base para interpretar los resultados de la instrumentación, las inspecciones y los conceptos especializados.

Una vez asignado el estado de alerta de cada frente de obra, la frecuencia de monitoreo deberá ajustarse a dicho nivel. Como referencia inicial, la Tabla 10.117 presenta las frecuencias generales recomendadas por nivel de alerta para construcción, operación, cierre y post-cierre, y debe utilizarse como criterio mínimo para definir o intensificar las actividades de seguimiento. Para el sistema de relaves existen recomendaciones de frecuencias específicas dadas en la Tabla 10.115, tal y como mencionado antes.

Tabla 10.116 Criterios para la calificación integral del estado de alerta

Estado de alerta	Nombre de la alerta (Decreto 2157 de 2017)	Descripción	Criterios para la calificación integral
Alerta Verde	Normalidad en las actividades	Las anomalías encontradas o la influencia de eventos externos no comprometen la seguridad de la obra. Se debe mantener el monitoreo a lo largo del tiempo.	Se asignará cuando el análisis integral concluya que la condición geotécnica del frente de obra corresponde al comportamiento esperado. Las anomalías detectadas son menores, no presentan evolución significativa y no representan riesgo para la estabilidad del componente. Puede existir una alerta instrumental aislada, siempre que la evaluación integral demuestre que no compromete la seguridad de la obra.
Alerta Amarilla	Preparación para la respuesta	Las anomalías encontradas no comprometen la seguridad de la obra en el corto plazo, pero deben ser controladas, monitoreadas o reparadas para evitar su evolución.	Se asignará cuando la evaluación integral evidencie condiciones que requieren seguimiento especial, incremento en la frecuencia del monitoreo / inspección o implementación de medidas preventivas, sin representar un riesgo inmediato para la estabilidad del componente. El especialista podrá recomendar actividades de mantenimiento, control o reparación con el fin de evitar la evolución de las anomalías.
Alerta Naranja	Alistamiento	Las anomalías encontradas representan un riesgo para la obra, debiendo adoptarse acciones rápidas en el corto plazo para la eliminación del problema.	Se asignará cuando el análisis integral determine que existe un deterioro significativo de las condiciones geotécnicas y que, de no implementarse medidas correctivas oportunamente, el componente puede evolucionar hacia una condición de inestabilidad. La decisión deberá sustentarse en la correlación entre la instrumentación, las inspecciones de campo y las evaluaciones de ingeniería. En este nivel deberá

Estado de alerta	Nombre de la alerta (Decreto 2157 de 2017)	Descripción	Criterios para la calificación integral
			mantenerse el personal y los recursos en condición de alistamiento para ejecutar las acciones definidas por el proyecto.
Alerta Roja	Inicio de las acciones de respuesta	Las anomalías encontradas o la influencia de eventos externos presentan riesgo de falla o falla inminente, debiendo aplicarse los planes de emergencia para reducir la afectación a las personas, la infraestructura y el ambiente por la materialización del riesgo.	Se asignará cuando el Ingeniero Especialista determine, mediante concepto técnico, que existen condiciones compatibles con un escenario de falla o falla inminente. Esta calificación podrá sustentarse en la superación de límites críticos de diseño, tendencias aceleradas de deterioro, evidencia directa de inestabilidad durante las inspecciones, resultados de análisis geotécnicos o cualquier combinación de estos elementos que permita concluir que la seguridad del componente se encuentra comprometida. Para este nivel, se deberá contar con monitoreo mediante drones cuando las condiciones de seguridad de la obra impidan realizar inspecciones directas en campo. Asimismo, se deberán implementar alarmas sonoras que permitan advertir sobre situaciones peligrosas para los colaboradores al interior de la mina y para las comunidades aledañas. La emisión de esta alerta implicará el inicio de las acciones de respuesta definidas en el Plan de Emergencias y lo establecido en el PON Movimiento en masa del proyecto Gramalote.

Fuente: Modificado por Integral S.A., 2025

Tabla 10.117 Frecuencias recomendadas de monitoreo e inspección por nivel de alerta

Nivel de alerta	Condición general	Frecuencia recomendada en construcción	Frecuencia recomendada en operación	Frecuencia recomendada en cierre y post cierre
Verde	Comportamiento dentro de lo esperado y sin evidencias de deterioro relevante.	Diaria a quincenal, según el tipo de instrumento, la criticidad del frente y el avance de las actividades constructivas.	Quincenal a mensual durante el primer año de operación y trimestral posteriormente, siempre que se mantenga un comportamiento estable.	Semestral a anual, siempre que el comportamiento permanezca estable y no existan cambios significativos en las condiciones hidrogeotécnicas.
Amarilla	Condición que requiere seguimiento especial, verificación de lecturas o control preventivo.	Dos por semana a semanal, con la frecuencia definida por el Ingeniero Especialista, de acuerdo con la tendencia observada y la etapa constructiva.	Semanal o con menor frecuencia, según la evolución de las variables monitoreadas y la necesidad de confirmar la estabilización de la condición.	Mensual o con menor frecuencia, según la evolución de la condición y la efectividad de las medidas implementadas. Mantener esta frecuencia hasta confirmar la estabilización del comportamiento.

Nivel de alerta	Condición general	Frecuencia recomendada en construcción	Frecuencia recomendada en operación	Frecuencia recomendada en cierre y post cierre
Naranja	Deterioro significativo o tendencia que puede evolucionar hacia una condición de inestabilidad si no se implementan medidas oportunas.	Dos por día a diaria, según la criticidad del componente, la velocidad de cambio de las mediciones y las acciones correctivas en ejecución.	Diaria o con menor frecuencia si la tendencia muestra aceleración o si se encuentran en ejecución medidas de control o mitigación.	Quincenal o con menor frecuencia, según la velocidad de evolución de la condición y las medidas correctivas implementadas. Considerar monitoreo continuo cuando la instrumentación lo permita y el riesgo lo justifique.
Roja	Condición crítica compatible con escenario de falla o falla inminente, que requiere activación de acciones de respuesta.	Continua, diaria o por turnos, de acuerdo con el tipo de instrumento disponible, la seguridad del personal y el procedimiento de respuesta definido para el frente.	Continua, diaria o por turnos, mientras se mantenga la condición crítica y hasta que el Ingeniero Especialista determine la reducción del nivel de alerta.	Semanal o por turnos, manteniendo vigilancia permanente hasta eliminar la condición crítica o implementar las medidas de estabilización definidas por el Ingeniero Especialista y el plan de respuesta a emergencias.

Fuente: Modificado por Integral S.A., 2025

La frecuencia de monitoreo podrá ser reevaluada en cualquier etapa del proyecto cuando se identifiquen cambios en el comportamiento geotécnico o hidráulico, se disponga de información histórica suficiente, se presenten modificaciones del diseño, cambien las condiciones constructivas u operativas, o el Ingeniero Especialista Responsable de Geotecnia emita un concepto técnico que justifique su ajuste.

Como resultado de este proceso, el Ingeniero Especialista emitirá un Concepto Técnico de Estado de Alerta para cada frente de obra, en el cual establecerá el nivel de alerta oficial (Verde, Amarilla, Naranja o Roja), las justificaciones técnicas que soportan dicha clasificación y las recomendaciones de monitoreo, control, mitigación o respuesta que deban implementarse.

IV. Actividades de post-cierre y monitoreo ambiental en depósitos de estériles

Será necesario establecer actividades de cuidado y mantenimiento una vez concluida la etapa de cierre, así como realizar monitoreos para verificar la estabilidad física y química de los depósitos. Estas labores deberán llevarse a cabo de forma constante y durante un período prolongado en ciertas zonas específicas.

Se realizarán labores de mantenimiento y control del lugar de forma continua, dos veces al año. La cantidad de personal y los costos asociados dependerán de la etapa de cierre en que se encuentre el proyecto y de la efectividad de las acciones implementadas.

Será necesario contar con una cantidad suficiente de camiones, equipos y áreas de campamento en el lugar para facilitar las labores de cuidado y mantenimiento general, evitando así gastos adicionales en el transporte de equipos.

- **Monitoreo Físico**

Las inspecciones de la estabilidad física de los depósitos se realizarán de manera regular. Como práctica habitual, se efectuará al menos una inspección semestral, a cargo de un ingeniero con experiencia en aguas superficiales, aguas subterráneas, taludes y cierres de minas. Estas inspecciones deberán cubrir tanto la temporada de lluvias como la época seca, lo que permitirá contar con tiempo suficiente para aplicar las medidas correctivas necesarias. Las inspecciones de emergencia se llevarán a cabo de inmediato en caso de eventos como terremotos o inundaciones.

Durante el monitoreo físico, se realizará una inspección visual de las estructuras de recolección de infiltraciones y de los sedimentadores, incluyendo registros fotográficos y notas de campo sobre las condiciones de la superficie rehabilitada. En la revisión de las medidas correctivas, se documentará detalladamente cualquier cambio, como grietas en la superficie, hundimientos, depresiones o erosión, que pueda poner en riesgo la seguridad de los depósitos.

Por otro lado, las zonas del pie de los depósitos también serán inspeccionadas para identificar signos de infiltración, erosión o pérdida de finos. La estabilidad física será verificada mediante la instrumentación geotécnica instalada en los depósitos. En el caso de los sedimentadores, los vertederos de emergencia también serán monitoreados para detectar cualquier signo de erosión o bloqueo. Cualquier señal de alteración se registrará

para su examen y evaluación adicional, con el fin de determinar si es necesario adoptar medidas correctivas.

- Monitoreo calidad de agua

Para el monitoreo de calidad de agua, se seguirán todas las frecuencias, cantidad de parámetros y sitios de monitoreo definidas en el PMS_ABIO-01_V2_Programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico•

- Monitoreo de la calidad de aire

Las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) se desarrollarán considerando lo expuesto en la Resolución 2254 de 2017 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) adoptado y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. Para ello se utilizarán equipos autónomos PQ200, los cuales operarán de forma permanente en 6 sitios seleccionados para todo el proyecto, con muestreos de 24 horas y frecuencia mínima cada 6 días. Los resultados obtenidos, serán comparados con los niveles máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017 o la que la modifique. Las metodologías, puntos de ubicación de estaciones, parámetros y periodicidad, se encuentran definidos en el PMS_ABIO-02_V2_Programa de seguimiento y monitoreo de las emisiones atmosféricas.

V. Reporte de monitoreo y acciones implementadas

Toda acción correctiva, preventiva o de contingencia deberá registrarse en una matriz o documento de seguimiento que incluya, como mínimo, el hallazgo, la fecha, la ubicación, el componente afectado, el nivel de alerta, el responsable, la acción implementada, la evidencia fotográfica, la verificación de su eficacia y la fecha de cierre. Una acción solo podrá cerrarse cuando el Ingeniero Especialista Responsable de Geotecnia o el especialista ambiental competente confirme que la condición ha sido controlada, no presenta tendencia de deterioro y el monitoreo posterior evidencia el retorno a una condición estable o aceptable.

Los resultados del monitoreo y las inspecciones deberán consolidarse en informes durante el postcierre (anuales o con otra frecuencia definida por el cliente), salvo que el nivel de alerta exija reportes extraordinarios. Estos informes incluirán el análisis de tendencias, la comparación con los umbrales establecidos, la evaluación de la eficacia de las medidas implementadas, las recomendaciones para ajustar la frecuencia de monitoreo y, cuando exista información histórica suficiente, la actualización de los umbrales de control.

Con base en los protocolos establecidos en este capítulo y en los antecedentes registrados durante la ejecución del proyecto, se deberá mantener un registro actualizado de los eventos ocurridos y de los escenarios de riesgo identificados. Este registro incluirá la fecha del evento, su descripción, las causas, las consecuencias para el proyecto y su entorno, las medidas implementadas y el estado de seguimiento. Asimismo, incorporará aquellos riesgos no previstos inicialmente, con el fin de actualizar periódicamente el presente plan y fortalecer el proceso de gestión del riesgo

10.1.3.1.5 Plan de reducción del riesgo

El proceso de reducción del riesgo se define como la intervención aplicada a los escenarios de riesgo identificados en la etapa de conocimiento del riesgo. Este proceso incluye

medidas de prevención, mitigación, control y tratamiento que se deben adoptar para disminuir el riesgo, ya sea reduciendo la probabilidad de ocurrencia de eventos amenazantes o la vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo, con el objetivo de evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de materialización del riesgo tanto en aquellas áreas objeto de modificación y nuevas como de aquellas obras que no son objeto de modificación. La intervención puede ser correctiva, para reducir el riesgo actual, o prospectiva, para prevenir el riesgo futuro. El objetivo de estas intervenciones es lograr que los riesgos clasificados como altos se reduzcan a niveles moderados o bajos, y que estos últimos se mantengan en dichos niveles, lo cual requiere un monitoreo constante.

La gestión de riesgos es una responsabilidad compartida, por lo que todos los empleados y contratistas deben asumir un rol de liderazgo en su propia seguridad y en la de sus compañeros. Es fundamental trabajar en equipo, ser conscientes de los riesgos y estar comprometidos con la seguridad.

A. Intervención correctiva y prospectiva

El objetivo de la intervención correctiva es reducir el nivel de riesgo existente para la población y los bienes sociales, económicos y ambientales en el área de influencia de las entidades afectadas. Esto se logra mediante acciones de mitigación que disminuyen o eliminan las condiciones de amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Estas acciones abordan tanto las causas como las consecuencias del riesgo (Decreto 2157, 2017). Por otro lado, las intervenciones prospectivas buscan evitar la aparición de nuevas situaciones de riesgo a través de medidas preventivas. Estas medidas previenen la exposición de personas y bienes a posibles eventos peligrosos, reducen las pérdidas y promueven la sostenibilidad de las entidades.

B. Medidas de reducción del riesgo

Medidas de reducción del riesgo de desastres transversales a las amenazas endógenas y exógenas identificadas

En la Tabla 10.118 se describen las medidas de reducción del riesgo transversales a todas las amenazas identificadas para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Las medidas descritas contienen nombre de la medida, objetivo, tipo de medida e intervención, descripción, responsable y plazo de ejecución.

Tabla 10.118 Medidas de reducción del riesgo transversales ante amenazas identificadas

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas transversales a todas las amenazas		
Nombre de la medida: Articulación, implementación y mantenimiento de un Sistema de Alertas Tempranas - SAT ante sismos, movimientos en masa, inundaciones e incendios de cobertura vegetal.		
Objetivo de la medida: Implementar un Sistema de Alertas Tempranas (SAT) ante las amenazas naturales y socio-naturales priorizadas en articulación con y IDEAM y el Servicio Geológico Colombiano (SGC), integrando el conocimiento, monitoreo, comunicación y reacción oportuna ante eventos amenazantes.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas transversales a todas las amenazas		
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas Relacionadas	Sismos, Movimientos en masa, Inundaciones, Incendios de cobertura vegetal	
Descripción	<p>Consolidar un SAT multi-amenaza que permita monitorear las amenazas identificadas para generar alertas tempranas e implementar medidas de preparación ante estas.</p> <p>El SAT de Gramalote se concibe como un sistema multi-amenaza que integra información procedente de fuentes oficiales (IDEAM, Servicio Geológico Colombiano, SAMA y SIATA), internas y locales (Keraunos, sensores, estaciones y otros instrumentos de Gramalote), comunitarias (reportes de habitantes, líderes, vigías y partes interesadas) y especializadas como la Corporación OSSO cuando la amenaza, el estudio o un convenio lo requiera. La información ingresa al Centro de Monitoreo y Coordinación de Emergencias, donde se registra y consolida; posteriormente es verificada y evaluada por el EMT y el equipo técnico correspondiente. Con base en esta evaluación, el líder autorizado declara el nivel de alerta y ordena las acciones de comunicación y respuesta que correspondan.</p> <p>La arquitectura del sistema permite, por tanto, establecer una conexión continua entre monitoreo, toma de decisiones, comunicación y respuesta. Es importante destacar que el SAT no opera como un mecanismo independiente del PGR, sino como el mecanismo que permite transformar la información obtenida mediante el monitoreo, la validación y la difusión acompañada de la respuesta y articulación tal como se ilustra en la Figura 10.90.</p> <div data-bbox="466 1180 980 1209" style="text-align: center;"> SISTEMA DE ALERTAS TEMPRANAS · GRAMALOTE </div> <p style="font-size: small;">* Corporación OSSO se integran únicamente cuando la amenaza, el estudio o un convenio lo requiere. ANLA recibe notificación, no activa la alerta interna.</p> <p style="font-size: x-small;">— Flujo operativo - - - Vinculación institucional</p>	

Figura 10.90 Arquitectura integrada del Sistema de Alerta Temprana
Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026

Flujo operativo del SAT

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas

Medidas transversales a todas las amenazas

La arquitectura anterior define quiénes intervienen y cómo se relacionan las fuentes de información con la validación, decisión, difusión y respuesta. Para operacionalizar esta arquitectura, el SAT establece un flujo de nueve etapas: detección; registro/reporte; verificación; evaluación; decisión; comunicación; respuesta; seguimiento y cierre; y evaluación posterior. De esta manera, una condición anormal no se limita a generar un reporte, sino que sigue una secuencia controlada hasta su cierre y posterior evaluación.

La detección se realizará mediante la integración de las siguientes fuentes que incluyen el proceso de monitoreo del riesgo:

- Instrumentos, sensores, estaciones y sistemas automáticos disponibles.
- Pronósticos, boletines y alertas emitidos por entidades técnicas oficiales.
- Inspecciones de campo y seguimiento realizado por personal técnico.
- Reportes de trabajadores, contratistas, comunidades y vigías comunitarios.
- Observación de señales precursoras definidas en la ficha técnica de cada amenaza Anexo_PGR_GC-SST-FT-317_Ficha_Tecnica.
- Información procedente del CMGRD, CDGRD, organismos de socorro y autoridades ambientales.

En la Figura 10.91 se ilustra el flujo operativo del SAT Gramalote.

Flujo operativo del Sistema de Alerta Temprana



Figura 10.91 Flujo operativo del Sistema de Alerta Temprana

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026

La Figura 10.91 constituye el vínculo operativo entre los diferentes componentes del SAT. En particular, muestra que la comunicación se produce después de la decisión sobre el nivel de alerta y que la respuesta constituye una etapa posterior a la comunicación. A su vez, el seguimiento y la evaluación posterior permiten cerrar el ciclo y retroalimentar el sistema.

Articulación con el subproceso de monitoreo del riesgo

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas

Medidas transversales a todas las amenazas

El SAT se articula directamente con el subproceso de monitoreo del riesgo del PGR. Este subproceso organiza el seguimiento a la seguridad de los diferentes frentes de obra y contempla instrumentación, inspecciones y otras fuentes de información de acuerdo con la criticidad y la etapa del proyecto. Para las obras objeto de modificación ubicadas en el sector de La María —depósito R, depósito El Torito y vía de acceso al depósito El Torito—, durante construcción se contempla monitoreo topográfico e inspecciones de campo; para operación y cierre de los depósitos ZODME R y El Torito se contempla, además, instrumentación con piezómetros de cuerda vibrante e inclinómetros, con frecuencias ajustadas según el nivel de alerta.

El SAT incorpora esta información junto con las fuentes externas y comunitarias. La detección puede originarse en sensores, estaciones, sistemas de información, observación directa, fuentes oficiales o reportes de la comunidad. Una vez recibida, la información es registrada, verificada y evaluada antes de definir el nivel de alerta. Es importante destacar que, toda condición anormal detectada deberá registrarse indicando fecha, hora, ubicación, variable observada, valor registrado, fuente, evidencia disponible y persona que reporta. La información será incorporada a la bitácora de monitoreo (Anexo_PGR_GC-SST-FT-316_BitacoraMonitoreo) y comparada con la línea base y con los umbrales establecidos para cada nivel de alerta.

Cabe resaltar que, La asignación del estado de alerta no se realiza de manera automática por la ocurrencia de una alerta instrumental individual. El PGR establece que la calificación debe resultar de una evaluación integral que considere el comportamiento de la instrumentación, la correlación con otros instrumentos, la evolución temporal y velocidad de cambio, las inspecciones geotécnicas, grietas, deformaciones y filtraciones, la influencia de lluvias, sismos, excavaciones y voladuras, los análisis de ingeniería y los conceptos de los especialistas responsables. Cuando sea técnicamente posible, las excedencias deben confirmarse mediante nuevas lecturas o comparación con otros instrumentos

Este criterio es fundamental para la operación del SAT, puesto que la información del monitoreo constituye una entrada para la decisión, pero la declaración del nivel de alerta corresponde al resultado del análisis técnico integral. Una vez asignado el nivel que utiliza Gramalote (Tabla 10.119), la frecuencia de monitoreo se ajusta de acuerdo con dicho nivel. Para los depósitos R y El Torito, el PGR establece además que, si la instrumentación o las inspecciones evidencian una condición de alerta roja, se deberá activar el plan de emergencia del proyecto para proteger la vida y el medio ambiente de los colaboradores y de las comunidades aledañas, considerando el mapeo de elementos vulnerables.

Tabla 10.119 Relación nivel de alerta y SAT

Nivel	Estado definido en el PGR	Función dentro del SAT
Nivel 1 – Verde	Estado de normalidad	Mantener condiciones normales de vigilancia y monitoreo.
Nivel 2 – Amarillo	Observación de señales críticas o susceptibles al detonante de la amenaza	Incrementar la observación y preparar acciones preventivas según la condición identificada.
Nivel 3 – Naranja	Alistamiento y disponibilidad de reacción ante posible	Preparar recursos y equipos para una posible respuesta.

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas transversales a todas las amenazas		
		materialización de la emergencia
Nivel 4 – Roja	Reacción inmediata	Activar las acciones de protección y respuesta que correspondan al escenario.
Fuente: Integral S.A., 2026		
Identificación de comunidades y actores del SNGRD		
<p>La identificación de las comunidades receptoras del SAT se realizará con base en los elementos expuestos y las áreas de afectación definidas para cada escenario de riesgo. Por ello, la población a notificar no se determina únicamente por su pertenencia al área de influencia, sino por su posible exposición frente al escenario específico y por la evolución de la condición monitoreada.</p> <p>Para las obras objeto de modificación ubicadas en el sector de La María, el PGR identifica el depósito R, el depósito El Torito y la vía de acceso al depósito El Torito. Los análisis de exposición desarrollados para los depósitos consideran las áreas potencialmente afectadas por los escenarios de falla y los elementos vulnerables presentes en ellas. En consecuencia, La María constituye un sector prioritario para la socialización del SAT asociado con estas obras, sin perjuicio de que, dependiendo de la evolución de una amenaza y de la extensión de su área probable de afectación, la notificación pueda ampliarse a otras comunidades o elementos expuestos.</p> <p>La articulación territorial contempla al CMGRD de San Roque y, de acuerdo con la magnitud y alcance de la emergencia, los mecanismos de coordinación con el nivel departamental y los organismos de respuesta. El PGR contempla dentro de sus actores externos cuerpos de bomberos, Defensa Civil, Policía, servicios de salud y demás entidades que participan en la gestión del riesgo. La autoridad ambiental recibe la notificación que corresponda, de acuerdo con los procedimientos aplicables, sin constituirse en el responsable de activar la alerta interna del proyecto. En la Tabla 10.120 se relaciona la articulación de actores con el SAT.</p>		
Tabla 10.120 Mecanismos de articulación del SAT		
Actor / grupo	Participación en el SAT	Mecanismo de articulación
Comunidades potencialmente expuestas	Reciben la alerta/alarma, siguen las instrucciones de protección y evacuación y reportan condiciones anormales sin exponerse.	Socialización, capacitación, canales comunitarios y simulacros.
Líderes y vigías comunitarios	Apoyan el reconocimiento y reporte de señales y facilitan la comunicación con la comunidad.	Reuniones, capacitación y ejercicios prácticos.
CMGRD de San Roque	Coordina la articulación municipal y la respuesta territorial.	Notificación y coordinación durante alertas y emergencias.
DAGRAN / CDGRD	Apoyo departamental cuando la magnitud del evento o las capacidades disponibles lo requieran.	Mecanismos de coordinación territorial.
Organismos de respuesta	Apoyo en atención, control, búsqueda, rescate u otras	Coordinación mediante los mecanismos de respuesta establecidos

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas trasversales a todas las amenazas		
	funciones según competencia.	
Autoridad ambiental	Recibe información y ejerce las competencias que correspondan.	Notificación conforme a los procedimientos aplicables.
Fuente: Integral S.A., 2026		
Secuencia de divulgación del SAT		
La divulgación del SAT se desarrollará mediante una secuencia progresiva que inicia con la articulación institucional y comunitaria, continúa con la validación participativa de los mecanismos de protección y finaliza con pruebas, simulaciones y simulacros. Cada actividad deberá contar con registros de participación, resultados, dificultades identificadas y acciones de mejora.		
Tabla 10.121 Actividades de divulgación del SAT		
Actividad	Parte interesada	Frecuencia o momento
Reunión inicial de coordinación y presentación del SAT	CMGRD, autoridades, organismos de respuesta y líderes comunitarios	Anual y/o cuando se actualice el sistema
Socialización general de las amenazas, funcionamiento del SAT y responsabilidades	Comunidades del área de influencia final, especialmente La María	Anual y/o cuando se actualice el sistema
Reconocimiento y validación participativa de sectores expuestos, rutas, puntos seguros y medios de comunicación	Comunidades del área de influencia final, líderes, CMGRD y equipo técnico de Gramalote	Anual y/o cuando se actualice el sistema
Capacitación de líderes, vigías y multiplicadores comunitarios	Líderes principales y suplentes, JAC, instituciones educativas y vigías	Anual
Campaña general de divulgación por canales locales	Comunidades del área de influencia final, trabajadores, contratistas, visitantes e instituciones educativas	Semestral y antes de temporadas críticas
Prueba anunciada de sirenas, radios, cadenas de llamadas y medios alternos	Comunidades del área de influencia final, líderes, Centro de Control, CMGRD y brigadas	Semestral o según el programa de pruebas
Simulación de escritorio con responsables institucionales y técnicos	EMT, ERT, equipo técnico, CMGRD y organismos de respuesta	Anual
Simulacro comunitario de alerta, comunicación y evacuación	Comunidades del área de influencia final, especialmente La María, Gramalote, CMGRD y organismos de respuesta	Anual
Evaluación, retroalimentación y comunicación de mejoras	Todos los participantes	Después de cada prueba, simulación, simulacro o evento real
Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026		
Mecanismos de alarma y procedimientos de notificación		
En el SAT se diferencia entre alerta y alarma. La alerta corresponde a la información sobre la posibilidad o evolución de una amenaza que permite preparar o activar acciones preventivas. La alarma es la señal que comunica la necesidad		

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas

Medidas transversales a todas las amenazas

de ejecutar una acción inmediata, como evacuar, restringir el ingreso o desplazarse a un punto seguro.

La secuencia de notificación inicia una vez que el nivel de alerta ha sido definido. El líder del EMT y el equipo de comunicaciones difunden la alerta institucional y, cuando proceda, la alarma poblacional. La comunicación debe ser clara, precisa y verificable. De acuerdo con el PGR, la información de una emergencia debe responder, como mínimo, a cinco elementos: nombre, qué pasó, dónde pasó, hace cuánto pasó y si existen personas afectadas. En la Tabla 10.122 se listan los mecanismos de notificación.

Tabla 10.122 mecanismos de notificación

Emisor	Receptor	Medios previstos	Verificación / periodicidad
CCTV / Centro de Monitoreo	Coordinador de Emergencias	Celular / radio digital / WhatsApp	Mensual o según criticidad.
Coordinador de Emergencias	Líder del EMT	Celular / radio digital / WhatsApp	Semestral y programada.
Líder del EMT	Líderes comunitarios / comunidad	Sirena / celular-WhatsApp / megáfono / recorrido puerta a puerta	Semestral y programada.
Líder del EMT	Líder del CMT	Celular / WhatsApp	Anual.
Líder del CMT	Autoridades	Celular / WhatsApp	Anual.

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026

Cabe destacar que, el sistema incorpora mecanismos de continuidad para reducir la dependencia de un único medio. Ante pérdida de energía se dispone de UPS, baterías y planta eléctrica; ante pérdida de señal de un sensor se realiza verificación local y se consulta una fuente alterna; ante caída de la red celular o internet se utilizan radios, teléfono satelital o activación local voz a voz; ante ausencia del responsable se recurre al suplente definido en el directorio de emergencias; y ante una alarma sonora inoperante se utilizan megáfonos, radios, recorridos y voz a voz.

Articulación con las acciones de ejecución para la respuesta a emergencias

La función del SAT se concreta cuando la información obtenida mediante el monitoreo permite adoptar una decisión y activar las acciones correspondientes. Por tanto, la declaración de un nivel de alerta no constituye una actuación aislada: es el punto de conexión entre el monitoreo del riesgo y el Plan de Manejo de Emergencias y Contingencias.

Una vez declarado el nivel, se ejecutan las acciones previstas para la condición identificada, las cuales pueden comprender incremento del monitoreo, restricciones de acceso, alistamiento de recursos, protección, evacuación y activación de los procedimientos de emergencia. El ERT ejecuta las acciones operativas dentro de sus capacidades; el EMT administra y coordina la emergencia; y el enlace con las instancias territoriales permite solicitar apoyo externo cuando sea necesario.

Esta articulación es especialmente explícita para los depósitos ZODME R y El Torito: el PGR establece que, cuando la instrumentación o las inspecciones evidencien una condición de alerta roja, deberá activarse el plan de emergencia

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas														
Medidas transversales a todas las amenazas														
	<p>del proyecto para proteger la vida y el medio ambiente de los colaboradores y de las comunidades aledañas, considerando el mapeo de elementos vulnerables.</p> <p>Cuando la emergencia requiera la participación de varias entidades, la respuesta se articula con los actores territoriales de gestión del riesgo y los organismos de apoyo externo. El PGR establece además la coordinación de las acciones de emergencia mediante los mecanismos definidos para el manejo de emergencias y crisis, así como los procedimientos de comunicación y notificación.</p> <p>Indicadores</p> <table><tr><th>Indicador</th><th>Fórmula</th><th>Frecuencia</th></tr><tr><td>1.Cumplimiento del monitoreo del SAT</td><td>(N.º de actividades de monitoreo ejecutadas conforme a la frecuencia y condiciones establecidas / N.º de actividades de monitoreo programadas) × 100</td><td>Mensual y consolidado anual</td></tr><tr><td>2.Oportunidad de notificación del SAT</td><td>(N.º de alertas/ejercicios en los que la notificación se realizó dentro del tiempo establecido / N.º total de alertas/ejercicios que requirieron notificación) × 100</td><td>Por evento, simulacro y consolidado anual</td></tr><tr><td>3. Efectividad de activación y respuesta del SAT</td><td>(N.º de ejercicios/eventos en los que se ejecutaron correctamente las acciones de respuesta correspondientes al nivel de alerta / N.º total de ejercicios/eventos evaluados) × 100</td><td>Por simulacro/evento y consolidado anual</td></tr></table> <p>Seguimiento, cierre y mejora continua</p> <p>El SAT incorpora el seguimiento posterior a la comunicación y respuesta. Una vez controlada la condición, se actualiza la información, se confirma el fin de la amenaza y se autoriza el retorno cuando las condiciones técnicas lo permiten. Posteriormente se evalúan los tiempos de detección, registro, verificación, decisión, comunicación y respuesta, así como las fallas de los medios, falsas alarmas y oportunidades de mejora.</p> <p>Los resultados de esta evaluación retroalimentan el sistema y permiten ajustar, cuando corresponda, los procedimientos, responsabilidades, directorios, medios de comunicación, mecanismos de alarma y criterios técnicos de monitoreo. De esta forma se cierra el ciclo del SAT y se mantiene su capacidad operativa.</p>		Indicador	Fórmula	Frecuencia	1.Cumplimiento del monitoreo del SAT	(N.º de actividades de monitoreo ejecutadas conforme a la frecuencia y condiciones establecidas / N.º de actividades de monitoreo programadas) × 100	Mensual y consolidado anual	2.Oportunidad de notificación del SAT	(N.º de alertas/ejercicios en los que la notificación se realizó dentro del tiempo establecido / N.º total de alertas/ejercicios que requirieron notificación) × 100	Por evento, simulacro y consolidado anual	3. Efectividad de activación y respuesta del SAT	(N.º de ejercicios/eventos en los que se ejecutaron correctamente las acciones de respuesta correspondientes al nivel de alerta / N.º total de ejercicios/eventos evaluados) × 100	Por simulacro/evento y consolidado anual
	Indicador	Fórmula	Frecuencia											
	1.Cumplimiento del monitoreo del SAT	(N.º de actividades de monitoreo ejecutadas conforme a la frecuencia y condiciones establecidas / N.º de actividades de monitoreo programadas) × 100	Mensual y consolidado anual											
	2.Oportunidad de notificación del SAT	(N.º de alertas/ejercicios en los que la notificación se realizó dentro del tiempo establecido / N.º total de alertas/ejercicios que requirieron notificación) × 100	Por evento, simulacro y consolidado anual											
	3. Efectividad de activación y respuesta del SAT	(N.º de ejercicios/eventos en los que se ejecutaron correctamente las acciones de respuesta correspondientes al nivel de alerta / N.º total de ejercicios/eventos evaluados) × 100	Por simulacro/evento y consolidado anual											
Responsable	Equipo de administración de la plataforma SAT Keraunos Gramalote													
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto													
Nombre de la medida: Educación continua en Gestión del Riesgo de Desastres														
<p><u>Objetivo de la medida:</u> Llevar a cabo actividades educativas con el objetivo de fomentar una cultura del riesgo. Esta cultura es la suma de valores compartidos, conocimientos y actitudes dentro de la organización, enfocada en una reducción permanente del riesgo para lograr el bienestar de todos los actores dentro de la organización y de las comunidades cercanas.</p>														

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas transversales a todas las amenazas		
Tipo de Medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Todas	
Descripción	<p>Es determinante la educación constante en gestión del riesgo como medida de reducción.</p> <p>Para esto es importante realizar un proceso continuo que incluya:</p> <p>Implementación del Programa de entrenamiento y capacitación al personal el cual contiene capacitaciones generales y específicas diseñadas para todo el personal. Adicional a este programa, es importante involucrar tema clave como:</p> <ul style="list-style-type: none">• Charlas mensuales sobre manejo de riesgos, protocolos de trabajo seguro y prevención de emergencias en cada etapa del proyecto.• Socialización de los resultados de los análisis de riesgo incluidos en el plan y de futuros análisis.• Estudios de caso sobre emergencias y desastres ocurridos en proyectos similares, para extraer lecciones aprendidas.• Debate participativo sobre los riesgos asociados a cada puesto y estrategias para evitarlos.• Revisión detallada de los planes de acción específicos en caso de incidentes que comprometan la integridad física, las comunidades vecinas, la infraestructura o el medio ambiente. <p>Es fundamental que cada trabajador de Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote comprenda la obligación de reportar todos los accidentes e incidentes relacionados con la salud, seguridad o medio ambiente, fomentando así la retroalimentación del sistema para prevenir nuevos eventos.</p> <p>El plan de actividades preventivas deberá enfocarse no solo en la reducción de las amenazas, sino también en la reducción de la vulnerabilidad mediante el fortalecimiento social, así como en la importancia del cuidado del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales.</p>	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Nombre de la Medida: Ayuda mutua, fortalecimiento y apoyo en gestión del riesgo		
Objetivo de la medida: Comunicar y compartir con la comunidad cercana al área de probable afectación los conocimientos necesarios para reducir riesgos y saber cómo reaccionar en caso de una emergencia, en coordinación con los organismos participantes de la gestión del riesgo en el municipio de San Roque y Yolombó encabezados por el CMGRD.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Todas	
Descripción	Desarrollar procesos de retroalimentación en materia de conocimiento, reducción y manejo del riesgo entre la comunidad cercana al AI y el personal de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas		
Medidas transversales a todas las amenazas		
	<p>Gramalote, en los que la comunidad aporte sus conocimientos del territorio en torno a las emergencias presentadas y el proyecto aporte los análisis y las medidas descritas en el presente PGR. Esto incluye entre otros:</p> <p>Capacitaciones en gestión del riesgo</p> <p>Divulgación del PGR.</p> <p>Comunicación bilateral en prevención del riesgo en temporadas de invierno y eventos del ENSO.</p> <p>Talleres sobre protección del medio ambiente, y prevención de incendios provocados por la quema de residuos sólidos y adecuación de cultivos.</p> <p>Establecer Alianzas y Convenios: Realizar alianzas público/privadas y convenios interinstitucionales en los tres componentes de la gestión de riesgos: prevención, mitigación, y respuesta.</p> <p>Mantener Comunicación Constante: Mantener una comunicación constante con empresas privadas de la zona y líderes de las comunidades vecinas. Esto facilitará la toma de decisiones por parte de las autoridades, organismos de socorro y la comunidad, minimizando o eliminando las pérdidas.</p> <p>Articularse a las medidas de atención de emergencias propuestas los documentos de planificación territorial municipal tales como el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de San Roque y Yolombó en cabeza sus respectivos Consejos Municipales de Gestión del Riesgo</p>	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Nombre de la medida: Transferencia del riesgo – protección financiera		
Objetivo de la medida: Respaldo la operación de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote con recursos económicos adecuados para cubrir total o parcialmente las pérdidas en caso de un desastre.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Todas	
Descripción	<p>Como medida de reducción del riesgo y protección financiera el proyecto de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se debe adquirir pólizas de seguro con coberturas que incluyen eventos amenazantes. Las pólizas para adquirir son las siguientes:</p> <p><u>Todo Riesgo Daños Materiales (TRDM)</u>: Asegurar los daños materiales sufridos sobre los bienes objeto del Proyecto, equipos e instalaciones que forman la Planta Fotovoltaica. Desde la firma del Certificado de Aceptación Provisional o entrega de la obra, la Sociedad vehículo del Proyecto es responsable de la conservación, operación y mantenimiento del conjunto que forma la Planta Fotovoltaica y sus infraestructuras.</p> <p><u>Pérdida de Beneficios (PB)</u>: Cubrir las pérdidas consecuenciales a un daño material que ampare la pérdida de margen bruto de explotación tras la ocurrencia de un siniestro y los gastos derivados de la puesta en operación de la Planta, en las condiciones previstas a su ocurrencia en el caso que exista un hecho recogido en la cobertura de la póliza.</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas endógenas y exógenas identificadas	
Medidas transversales a todas las amenazas	
	Seguro de Responsabilidad Medioambiental: El seguro de Responsabilidad Ambiental cubre los costes de restaurar aquellos daños causados por accidentes ambientales, como la contaminación de la tierra, el agua, el aire y los daños a la biodiversidad. El seguro de responsabilidad ambiental proporciona cobertura para contaminación, tanto repentina, como gradual, costes de limpieza de primera parte (sitio propio) impuestos por las autoridades reguladoras, responsabilidad de terceros, incluido el impacto en el valor de la propiedad, costas y gastos legales.
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

Las amenazas y socio naturales identificadas en el presente PGR corresponden con sismos, movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales para las cuales se definen las medidas de reducción del riesgo descritas en la Tabla 10.123

Tabla 10.123 Medidas de reducción del riesgo ante amenazas de origen natural y socio naturales

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural		
Medidas de reducción del riesgo ante Sismos		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante Sismos		
Objetivo de la medida: Establecer acciones de preparación ante sismos a través de la reducción de la vulnerabilidad de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Amenaza sísmica	
Descripción	<p>Se instalará instrumentación especializada en las estructuras críticas, como la presa de colas, para medir aceleraciones sísmicas, niveles freáticos y deformaciones.</p> <p>Se llevarán a cabo inspecciones periódicas y se seguirán protocolos de mantenimiento preventivo en las estructuras clave, con el objetivo de anticipar fallas y garantizar la estabilidad.</p> <p>Se definirán rutas de evacuación y puntos de encuentro seguros dentro del área del proyecto, los cuales serán claramente señalizados para facilitar la evacuación en caso de emergencia.</p> <p>Todo el personal, contratistas y visitantes serán informados y entrenados sobre las rutas de evacuación y los puntos de encuentro mediante sesiones de socialización.</p> <p>Se identificarán áreas seguras para refugio temporal en caso de que no sea posible evacuar de inmediato, proporcionando protección a las personas hasta que puedan ser reubicadas.</p> <p>Se reforzará la señalización de equipos de atención primaria, como botiquines de primeros auxilios, extintores y otros recursos</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural		
	<p>de emergencia según lo dispuesto en el Manual de Señalización (Anexo_PGR_Manual_Señalización)</p> <p>Se divulgará un plan informativo detallado sobre los sistemas de comunicación disponibles para solicitar apoyo externo en caso de un sismo, y se verificará la efectividad de estos sistemas de manera periódica.</p> <p>Al menos una vez al año, se realizarán simulacros de evacuación para garantizar que todos los involucrados estén preparados ante un posible sismo.</p> <p>Se fortalecerá el programa de educación y divulgación para promover comportamientos seguros tanto durante como después de un sismo, con énfasis en la calma y la prevención.</p> <p>Se establecerán protocolos de coordinación con organismos de socorro, los Concejos Municipales de Gestión del Riesgo y líderes comunitarios para garantizar una respuesta rápida y eficaz ante emergencias.</p> <p>Todo el proceso de coordinación estará alineado con lo estipulado en la Ley 1523 de 2012 sobre la gestión del riesgo.</p> <p>Para proteger la infraestructura y a terceros, se contratarán pólizas de seguro que cubran posibles daños a las instalaciones y a personas fuera del proyecto.</p>	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo ante Movimientos en Masa		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante movimientos en masa		
Objetivo de la medida: Definir acciones de reducción del riesgo ante movimientos en masa para la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Movimientos en masa	
Descripción	<p>Durante la adecuación del terreno, los puntos identificados como susceptibles a la generación de movimientos en masa serán debidamente señalizados con elementos visibles y llamativos, con el fin de advertir oportunamente al personal y a los operadores de maquinaria.</p> <p>En las actividades que involucren el uso de equipos y maquinaria en áreas cercanas a zonas inestables, se aplicarán estrictamente los procedimientos de seguridad definidos para este tipo de operaciones, minimizando el riesgo de accidentes.</p> <p>Se divulgará de manera permanente al personal del proyecto la ubicación de las zonas susceptibles a movimientos en masa durante la etapa de operación, asegurando que todos los colaboradores conozcan las áreas de riesgo.</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural	
	<p>Se realizarán estudios de estabilidad de taludes en los sitios donde se desarrollen obras del proyecto, y se dará estricto cumplimiento a todas las recomendaciones técnicas derivadas de dichos estudios.</p> <p>Se instalará instrumentación geotécnica que permita el monitoreo continuo de taludes estratégicos y de aquellos identificados como peligrosos, considerando que el conocimiento detallado de las condiciones geológicas y geotécnicas es fundamental para la prevención de accidentes asociados a movimientos en masa.</p> <p>La operación de equipos y maquinaria en zonas cercanas a taludes inestables se llevará a cabo contemplando todas las precauciones necesarias, de acuerdo con los análisis geotécnicos y las condiciones del terreno.</p> <p>Se identificarán, demarcarán y comunicarán de manera clara los peligros geotécnicos y sus impactos potenciales, tanto para el personal operativo como para el personal administrativo y visitantes.</p> <p>El diseño de los taludes será realizado por personal competente en geotecnia, considerando las incertidumbres y variabilidades propias del macizo rocoso, la secuencia y cronograma de extracción, los peligros geológicos, la infraestructura asociada, las medidas de mitigación de fallas y los requisitos normativos vigentes.</p> <p>Los diseños de producción y las voladuras en los límites de los tajos incorporarán criterios técnicos que garanticen, dentro de los márgenes de control establecidos, la estabilidad a largo plazo de las pendientes y la protección de la infraestructura del proyecto.</p> <p>La operación de los llenos se realizará conforme a los diseños aprobados, respetando parámetros como cortes, alturas de taludes y la construcción de obras de drenaje.</p> <p>Se implementará un control adecuado de la escorrentía superficial mediante la correcta conducción de las aguas en las áreas aledañas a los frentes de obra, con el fin de reducir la saturación del terreno y la inestabilidad de los taludes.</p> <p>Se hará seguimiento al comportamiento de los llenos mediante el monitoreo continuo de las condiciones geotécnicas, permitiendo detectar oportunamente cualquier cambio que pueda comprometer su estabilidad.</p> <p>Se llevará a cabo una verificación permanente de los diseños geotécnicos, asegurando su concordancia con las condiciones reales encontradas en campo y permitiendo realizar los ajustes y modificaciones que sean necesarios.</p> <p>Se ejecutará el mantenimiento preventivo de toda la infraestructura asociada al proyecto, incluyendo canales</p>

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural	
	<p>interceptores de aguas lluvias, vías, obras de drenaje y cobertura vegetal, para garantizar su adecuado funcionamiento.</p> <p>Se construirá la infraestructura requerida para asegurar la estabilidad de los taludes, de acuerdo con los resultados de los estudios y diseños geotécnicos.</p> <p>Se identificarán, señalizarán y divulgarán las rutas de evacuación al personal del proyecto, asegurando una respuesta oportuna y organizada ante eventos asociados a movimientos en masa.</p> <p>El proyecto cuenta con un mapa interactivo de riesgo geotécnico del Proyecto Gramalote, en el cual se actualizarán de forma periódica las zonas de alerta (zonas rojas, naranjas y verdes), así como los puntos de pérdida de banca. Esta herramienta permitirá mantener informados a los colaboradores que se desplazan por las áreas de operación, reducir la exposición de personas, maquinaria y equipos, y garantizar una respuesta oportuna ante la ocurrencia de estos eventos.</p> <p>En relación con los escenarios de falla de los depósitos R y El Torito, se identificaron siete construcciones localizadas dentro del área de influencia del ZODME que presentan un nivel de vulnerabilidad alta frente al escenario de falla evaluado. En este caso, la medida de reducción del riesgo sobre los elementos expuestos corresponde al reasentamiento de las siete construcciones, con el propósito de eliminar su exposición frente a los efectos potenciales derivados de una eventual falla de los depósitos.</p> <p>De manera complementaria, la reducción de la amenaza se soporta en las medidas asociadas al diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos, así como en el control y seguimiento de sus condiciones de estabilidad geotécnica. Para la fase de construcción se contempla un programa de control de calidad de las obras, acompañado de actividades de inspección y seguimiento orientadas a verificar el cumplimiento de los criterios de diseño y las condiciones de ejecución previstas.</p> <p>Durante las fases de operación y cierre se implementará un programa de monitoreo geotécnico, mediante sistemas de instrumentación instalados en los depósitos R y El Torito, que incluye inclinómetros y piezómetros. Este sistema permitirá realizar el seguimiento de los parámetros asociados con la estabilidad de los depósitos y detectar oportunamente cambios en su comportamiento, de acuerdo con los criterios y frecuencias establecidos en el capítulo de Monitoreo del Riesgo.</p> <p>Estas medidas se complementan con la implementación de los planes de contingencia y recuperación establecidos para el proyecto, orientados a fortalecer la capacidad de respuesta ante la eventual materialización de los escenarios de riesgo y a establecer las acciones requeridas para el manejo y recuperación posterior al evento.</p>

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural		
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo ante inundaciones y avenidas torrenciales		
Nombre de la medida: Reducción del riesgo ante inundaciones y avenidas torrenciales		
Objetivo de la medida: Establecer acciones que permitan reducir el riesgo ante inundaciones en el proyecto, especialmente en eventos meteorológicos extremos asociados al cambio climático		
Tipo de medida	Estructural: X	No estructural:
Tipo de intervención	Correctiva: X	Prospectiva:
Amenazas relacionadas	Inundaciones y avenidas torrenciales	
Descripción	<p>Como principal medida de reducción del riesgo frente a inundaciones en las actividades asociadas a la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se contempla la planificación, diseño y construcción de obras hidráulicas orientadas a mitigar esta amenaza. Estas obras incluirán, entre otras, sistemas de drenaje superficial y subterráneo, canales de conducción y obras de control hidráulico, diseñadas con base en estudios hidrológicos e hidráulicos que consideren escenarios de eventos extremos, asociados tanto a la variabilidad climática como al cambio climático.</p> <p>De manera articulada con el Sistema de Alerta Temprana (SAT) del proyecto, se realizará el monitoreo permanente de los reportes de precipitación y alertas hidrometeorológicas a través del Geoportal del IDEAM y otras fuentes oficiales. A partir de esta información, se identificarán los períodos de mayor probabilidad de ocurrencia de inundaciones y se desarrollarán planes específicos de reducción del riesgo, con especial énfasis en eventos extremos asociados a fenómenos como La Niña, con el fin de anticipar y minimizar los impactos sobre el personal, la infraestructura y las operaciones.</p> <p>Adicionalmente, se implementarán las siguientes medidas complementarias:</p> <p>Socializar de manera periódica con el personal del proyecto las rutas de evacuación establecidas para escenarios de inundación, asegurando que todos los colaboradores conozcan los procedimientos de actuación y los puntos de encuentro seguros.</p> <p>Realizar recorridos de inspección en los cuerpos de agua presentes en el área del proyecto, con el fin de identificar posibles obstrucciones en los cauces, tales como acumulación de sedimentos, material vegetal o residuos, y proceder oportunamente a su retiro, garantizando la capacidad hidráulica de los mismos.</p> <p>Implementar programas de mantenimiento y estabilización en las riberas de los cauces, orientados a prevenir procesos de socavación y erosión generados por el aumento de la velocidad del flujo durante eventos de lluvia intensa.</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural	
	<p>Mantener en operación y buen estado los sistemas de drenaje del proyecto, incluyendo cunetas, canales interceptores y obras de paso, mediante actividades periódicas de limpieza y mantenimiento preventivo.</p> <p>Restringir temporalmente las actividades operativas en zonas susceptibles a inundación cuando se presenten alertas hidrometeorológicas, priorizando la seguridad del personal y la protección de la infraestructura.</p> <p>Coordinar acciones de prevención y respuesta con los organismos locales de gestión del riesgo, en concordancia con los lineamientos establecidos en la Ley 1523 de 2012.</p> <p>En concordancia con las medidas de reducción del riesgo frente a inundaciones, y como parte de las obras hidráulicas diseñadas para el manejo de escorrentías y eventos extremos, el proyecto contempla un sistema de control y descarga de aguas de tormenta que contribuya a la protección de la infraestructura y a la mitigación de la amenaza de inundación.</p> <p>La escorrentía generada durante eventos de lluvia y acumulada en los sedimentadores será conducida de manera controlada mediante tres tipos de estructuras de descarga: tubería perforada vertical de menor diámetro, tubería vertical de mayor diámetro y vertedero de emergencia. Esta configuración permite una evacuación progresiva de los caudales, reduciendo el riesgo de sobrecarga y desbordamiento.</p> <p>Los vertederos de emergencia han sido diseñados considerando tormentas de diseño de 24 horas y un período de retorno de 500 años, con el fin de salvaguardar la integridad de las presas y demás estructuras hidráulicas. Estos vertederos están dimensionados para conducir los caudales máximos asociados a tormentas extremas que no pueden ser manejados por los sistemas de descarga primaria, incluso cuando estos operan de manera conjunta.</p> <p>Como medida preventiva adicional, el inicio de las obras de desviación de la quebrada Guacas se programará para el comienzo de la estación seca, garantizando que las actividades constructivas se desarrollen durante el período de menor precipitación. Esta medida reduce la probabilidad de inundaciones durante la construcción y disminuye el riesgo para el personal, la maquinaria y las estructuras en ejecución.</p> <p>Estas acciones se articulan con el monitoreo hidrometeorológico del proyecto, el Sistema de Alerta Temprana (SAT) y los planes de contingencia, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante eventos de lluvia intensa y contribuyendo a la reducción del riesgo de inundaciones en el área de influencia del Proyecto Gramalote.</p>

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural		
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo ante incendios forestales		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante incendios forestales		
Objetivo de la medida: Establecer las medidas requeridas para reducir el riesgo ante posibles incendios forestales.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Incendios forestales	
Descripción	<p>Se realizará mantenimiento permanente de las áreas aledañas con cobertura vegetal y material boscoso, mediante actividades de limpieza, retiro de material vegetal seco y control de acumulación de combustibles forestales, con el fin de disminuir la probabilidad de ocurrencia y propagación de incendios forestales.</p> <p>Se capacitará de manera periódica al personal del proyecto en prevención y control de incendios, de acuerdo con la legislación minera vigente y los lineamientos técnicos de la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia, incluyendo procedimientos de actuación, uso de equipos y medidas de autoprotección.</p> <p>De manera articulada con el Sistema de Alerta Temprana (SAT) del proyecto, se realizará el monitoreo continuo de los reportes de sequía, índices de riesgo de incendio y alertas climáticas a través del Geoportal del IDEAM y demás fuentes oficiales. A partir de esta información, se identificarán los períodos críticos de sequía y se implementarán planes específicos de reducción del riesgo ante incendios de cobertura vegetal, con especial atención a escenarios asociados a eventos climáticos extremos.</p> <p>Como medidas complementarias, se implementarán las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none">• Establecer canales de comunicación y coordinación con las comunidades vecinas al proyecto, promoviendo acciones de sensibilización y concientización sobre la prevención de incendios forestales, especialmente en relación con la quema de residuos y la adecuación de cultivos, fomentando el manejo seguro y responsable del fuego.• Promover la vigilancia activa y el reporte oportuno de situaciones que puedan generar incendios forestales, tales como el arrojo de colillas encendidas, el uso inadecuado del fuego y la presencia de elementos como botellas o vidrios que puedan concentrar la radiación solar y actuar como focos de ignición.• Dotar las áreas operativas y zonas estratégicas del proyecto con equipos adecuados para el control inicial de incendios, incluyendo extintores, herramientas	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen natural y socio natural	
	<p>manuales y otros elementos acordes con el nivel de riesgo identificado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener actualizado y disponible el directorio de emergencias interno, así como los contactos de los organismos de socorro y atención de emergencias más cercanos al proyecto, facilitando una respuesta rápida y efectiva ante cualquier eventualidad. • Disponer de equipos completos de primeros auxilios con los elementos indispensables para la atención inicial de personas afectadas, así como de extintores operativos y debidamente señalizados para la atención oportuna de conatos de incendio. • Garantizar accesos adecuados y despejados para los vehículos de bomberos y demás servicios de emergencia, asegurando la transitabilidad en todo momento. • Asegurar que el personal del proyecto reciba capacitación continua en temas de control de incendios, autoprotección y primeros auxilios, reforzando la preparación ante emergencias. • Mantener una coordinación permanente con las autoridades locales, cuerpos de bomberos y demás servicios de emergencia, con el fin de asegurar una respuesta articulada, oportuna y eficaz ante la ocurrencia de incendios forestales.
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

En relación con las medidas de reducción del riesgo para aquellas amenazas de origen antrópico correspondiente con orden público y social en la Tabla 10.124 se listan las medidas de reducción del riesgo frente a esta amenaza.

Tabla 10.124 medidas de reducción del riesgo ante amenazas de origen antrópico

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen antrópico		
Medidas de reducción del riesgo ante la alteración del orden público y social		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante amenazas ante la alteración del orden público		
Objetivo de la medida: Establecer medidas que permitan la reducción de escenarios como paros, huelgas, hurtos, acciones de vandalismo en la de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Alteración del orden público y social	
Descripción	Como medida principal de reducción del riesgo frente a posibles eventos asociados al orden público y social, el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote desarrolla un programa de relaciones comunitarias, cuyo objetivo es establecer pautas y	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen antrópico	
	<p>lineamientos que permitan construir y mantener una relación armónica, transparente y de confianza entre la empresa y las comunidades ubicadas en el área de influencia del proyecto. Este ejercicio busca prevenir, minimizar y/o resolver oportunamente situaciones potencialmente conflictivas, mediante el diálogo permanente, la socialización de las actividades del proyecto y la atención adecuada de inquietudes y reclamos.</p> <p>De manera complementaria, el proyecto cuenta con un sistema integral de seguridad privada, apoyado por un sistema de vigilancia mediante circuito cerrado de televisión (CCTV), orientado a la protección del personal, la infraestructura y los activos del proyecto. El personal de seguridad estará encargado de las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlar el ingreso y la salida del personal mediante sistemas de identificación y carnetización. • Verificar y regular el acceso de visitantes, contratistas y proveedores a las instalaciones del proyecto. • Inspeccionar y controlar el ingreso y la salida de vehículos, de acuerdo con los protocolos establecidos. • Realizar rondas periódicas de inspección en los lotes de Gramalote, así como en las áreas de campamentos, oficinas e instalaciones operativas. • Monitorear de manera continua la situación de orden público en el área de influencia del proyecto, manteniendo comunicación con las autoridades competentes. <p>Adicionalmente, el proyecto cuenta con cerramiento perimetral y portería de acceso, con el fin de controlar el ingreso y salida de personas a las instalaciones, prevenir accesos no autorizados y evitar la irrupción de semovientes en las áreas operativas. Así mismo, dispone de un sistema integral de CCTV, que proporciona vigilancia permanente en las áreas de campamentos y oficinas, contribuyendo a la disuasión de actos delictivos y al respaldo de evidencias en caso de incidentes como hurtos o actos de sabotaje.</p> <p>Como medidas adicionales de fortalecimiento de la seguridad y la gestión social, se implementarán las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener informada de manera oportuna a la comunidad aledaña al proyecto sobre las actividades que se desarrollarán, con el fin de prevenir inconformidades y conflictos sociales. • Implementar actas de vecindad y de entorno, tanto al inicio como al cierre de las actividades del proyecto, con el propósito de documentar y soportar las condiciones originales del área de influencia, en especial en zonas asociadas a infraestructuras como la línea de conexión. • Mantener actualizados y divulgados entre todos los trabajadores los canales de comunicación y los

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen antrópico	
	<p>procedimientos para el reporte de eventos como hurtos, actos de sabotaje o alteraciones del orden público.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar de manera estricta la identidad de todas las personas que tengan acceso a las instalaciones del proyecto. • Instalar señalización clara y visible alrededor de las áreas operativas, advirtiendo sobre los riesgos asociados a la intrusión y el acceso no autorizado, como medida disuasiva frente a posibles intrusos o actos vandálicos articulado al según lo dispuesto en el Manual de Señalización (Anexo_PGR_Manual_Señalización) • Realizar revisiones periódicas de las condiciones de seguridad de las instalaciones y áreas del proyecto, identificando oportunidades de mejora y aplicando acciones correctivas cuando sea necesario. • Establecer y mantener programas de cooperación y apoyo mutuo con la Policía Nacional y demás autoridades competentes, para su activación oportuna en caso de presentarse situaciones que lo requieran.
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

Las medidas de reducción del riesgo asociadas a las amenazas de origen operacional o tecnológico, descritas en la Tabla 10.125, corresponden a eventos como explosiones no controladas, derrames de materiales peligrosos, incendios estructurales, colapsos estructurales, fallas de la presa de colas, fallas en la tubería de colas, derrumbes de taludes en los depósitos de material y en el tajo, emergencias sanitarias y accidentes de vehículos de carga.

Tabla 10.125 Medidas de reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
Medidas de reducción del riesgo ante explosiones no controladas		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante explosiones no controladas		
Objetivo de la medida: Establecer medidas enmarcadas en las actividades de las diferentes fases del proyecto para reducir el riesgo ante explosiones no controladas		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Explosiones no controladas	
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los explosivos, accesorios de voladura y servicios asociados al proyecto serán suministrados exclusivamente por INDUMIL, en cumplimiento de la legislación colombiana vigente sobre fabricación, comercialización, transporte y control de este tipo de materiales. 	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico	
	<ul style="list-style-type: none"> • El almacenamiento de explosivos y accesorios se realizará de manera separada, conforme a la normativa nacional y a la NFPA 495, mediante la construcción y operación de dos polvorines independientes destinados específicamente a cada tipo de material. • El transporte de explosivos y accesorios se efectuará de forma separada, en vehículos autorizados y debidamente señalizados, operados por personal capacitado y cumpliendo los requisitos legales aplicables al transporte de materiales peligrosos. • Las áreas de almacenamiento de polvorín serán construidas con muros en ladrillo cocido o material equivalente, contarán con una única puerta metálica de apertura hacia afuera y aberturas laterales de ventilación natural que eviten la acumulación de calor o gases. • Las aberturas de ventilación estarán protegidas con rejillas metálicas que impidan el ingreso de fauna o personas no autorizadas y eviten el lanzamiento de objetos hacia el interior de las instalaciones de almacenamiento. • Se construirán barricadas perimetrales alrededor de los polvorines, diseñadas para resistir proyectiles externos y dirigir la energía de una eventual explosión hacia arriba, minimizando los efectos laterales sobre el entorno. • Los polvorines respetarán las distancias de seguridad establecidas en la normativa vigente frente a infraestructura, vías y áreas operativas, y su acceso estará restringido exclusivamente a personal autorizado. • Se implementará un sistema de detección y respuesta contra incendios en los polvorines, compuesto por detectores de humo y/o llamas, sistemas de alarma y medios de supresión compatibles con el almacenamiento de explosivos. • Se dispondrá de sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en los polvorines, áreas de carga y descarga y vehículos de transporte, reduciendo el riesgo de iniciación accidental por electricidad estática o rayos. • Las actividades de voladura serán ejecutadas únicamente por personal competente y certificado, bajo procedimientos operativos estandarizados que incluyan sistemas de iniciación electrónica o remota. • Durante las voladuras se implementarán medidas de señalización, control de accesos y delimitación de zonas de seguridad, así como protocolos para la inspección posterior e identificación de tiros quedados. Todo articulado al según lo dispuesto en el Manual de Señalización (Anexo PGR Manual Señalización).

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<ul style="list-style-type: none">El personal involucrado en el manejo de explosivos recibirá capacitación periódica en seguridad, normatividad aplicable y atención de emergencias, complementada con inspecciones y auditorías internas orientadas a la mejora continua.	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo ante derrame de materiales peligrosos		
Nombre de la medida: Reducción del riesgo ante derrame de materiales peligrosos		
Objetivo de la medida: definir las medidas que reduzcan el riesgo de derrame de materiales peligrosos en aquellas áreas de transporte, acarreo, almacenamiento y manipulación de sustancias químicas peligrosas.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Derrame de materiales peligrosos	
Descripción	<ul style="list-style-type: none">La zona de descargue de carrotanques que transportan diésel contará con piso rígido en concreto vaciado, con canales colectores de derrames y un área de retención mínima de 40 m², diseñada para el control y manejo inmediato de eventuales emergencias por derrame.Los sitios de almacenamiento de materiales peligrosos estarán diseñados con techos que eviten el ingreso directo de lluvia y radiación solar, permitiendo simultáneamente ventilación natural y disipación de humos, con estructuras de soporte construidas en materiales no combustibles.Los pisos de las áreas de almacenamiento serán uniformes, antideslizantes, impermeables y sin ranuras, con una pendiente mínima del 1 % hacia los canales colectores, facilitando la limpieza y evitando infiltraciones al suelo.Se instalarán geomembranas de HDPE entre el concreto y el suelo natural como barrera adicional de contención, complementadas con una adecuada compactación del terreno para prevenir la migración de sustancias químicas hacia el subsuelo.Las paredes internas y externas de los sitios de almacenamiento estarán construidas en materiales sólidos y resistentes al fuego, tales como concreto, bloques o ladrillo, con altura suficiente para actuar como rompedores de fuego y evitar la propagación de incendios.Las áreas de almacenamiento de sustancias peligrosas tendrán acceso restringido únicamente a personal autorizado, con el número mínimo de puertas requerido para la operación y al menos una ruta de escape claramente señalizada para atención de emergencias.Los tanques de almacenamiento de combustibles estarán rodeados por diques de contención con	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<p>capacidad igual o superior a 1,1 veces el volumen del tanque, diseñados conforme a la norma API 650 y demás estándares técnicos aplicables.</p> <ul style="list-style-type: none">• Los pisos internos de los diques de contención serán de concreto armado, con pendiente mínima del 1 %, permitiendo el escurrimiento controlado de líquidos hacia los sistemas de drenaje.• Los diques contarán con canaletas internas y sistemas de drenaje independientes para aguas lluvias y aguas aceitosas, cada uno con su respectivo sello hidráulico, garantizando la captación total y el manejo adecuado de los líquidos recolectados.• Las sustancias químicas peligrosas se almacenarán exclusivamente en envases técnicamente compatibles con cada sustancia, tales como tambores, tanques, maxi-sacos o contenedores a granel, conforme a sus fichas de seguridad.• El almacenamiento se realizará en tarimas o estanterías tipo rack, debidamente niveladas y aseguradas, segregando las sustancias por clasificación y compatibilidad química, evitando deslizamientos, caídas o sobrecargas estructurales.• Todas las sustancias peligrosas almacenadas estarán ubicadas dentro de áreas confinadas mediante paredes, bordillos o sistemas de contención secundaria que permitan el control de derrames accidentales.• La señalización de las áreas de almacenamiento, manipulación y transporte interno de sustancias químicas se realizará conforme a la normatividad vigente, incluyendo identificación de riesgos, rutas de evacuación y equipos de respuesta a emergencias contenidas en el según lo dispuesto en el Manual de Señalización (Anexo_PGR_Manual_Señalización)• El manejo de combustibles y sustancias químicas se desarrollará conforme a lo establecido en el PMA_ABIO_06 – Programa de manejo de combustibles y sustancias químicas, autorizado en la Licencia Ambiental del Proyecto, incluyendo procedimientos de operación, inspección, contingencia y capacitación	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo ante explosiones asociadas a incendios estructurales		
Nombre de la medida: Reducción del riesgo ante incendios estructurales		
Objetivo de la medida: Establecer medidas enmarcadas en las actividades de las diferentes fases del proyecto para reducir el riesgo ante incendios estructurales en campamentos, oficinas e infraestructura para la operación del proyecto minero		
Tipo de medida	Estructural: X	No estructural:
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Incendios estructurales	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico	
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo con los criterios de protección contra incendios, las edificaciones del proyecto contarán con sistemas de detección temprana, incluyendo detectores de humo y/o de llamas, así como sistemas de rociadores automáticos, de acuerdo con la clasificación de ocupación, carga de fuego y nivel de riesgo de cada recinto. • Se dispondrá de una red de hidrantes contra incendio estratégicamente ubicada, diseñada para la protección de edificaciones y la atención de incendios no estructurales, garantizando caudales y presiones adecuadas conforme a la normativa técnica aplicable. • Se instalarán extintores portátiles tipo BC y ABC, distribuidos según el tipo de riesgo y las áreas a proteger, de conformidad con los lineamientos de la normativa NFPA aplicable y la reglamentación nacional vigente. • Los extintores portátiles serán inspeccionados mensualmente y sometidos a mantenimiento preventivo y recarga anual, según corresponda al tipo de agente extintor, manteniéndose debidamente señalizados y con acceso libre y visible. • El personal del proyecto recibirá capacitación periódica en prevención y control inicial de incendios, uso de equipos de extinción y atención de emergencias, conforme a la legislación minera vigente y a los lineamientos de la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia. • Se implementará un programa de mantenimiento preventivo de las áreas aledañas con cobertura vegetal y material boscoso, incluyendo limpieza, control de material combustible y franjas cortafuego, con el fin de reducir el riesgo de incendios forestales que puedan afectar la infraestructura del proyecto. • Las instalaciones eléctricas del proyecto serán diseñadas, construidas y mantenidas conforme a normas técnicas vigentes, incluyendo sistemas de puesta a tierra, protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos, con inspecciones periódicas para prevenir fallas que puedan generar incendios. • Se establecerán procedimientos operativos para el control de fuentes de ignición, almacenamiento seguro de materiales combustibles y orden y aseo en las áreas operativas y administrativas, reduciendo la probabilidad de ocurrencia de incendios estructurales. • El proyecto contará con planes de emergencia y evacuación para incendios estructurales, que incluirán rutas de evacuación señalizadas, puntos de encuentro, simulacros periódicos y coordinación con organismos externos de atención de emergencias.

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<ul style="list-style-type: none">Las medidas de prevención y control de incendios se implementarán en concordancia con lo establecido en el PMA_ABIO_07 – Programa de manejo de explosivos y voladuras y el PMA_ABIO_06 – Programa de manejo de combustibles y sustancias químicas, autorizados en la Licencia Ambiental del Proyecto.	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo asociadas a colapso estructural		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante colapso estructural		
Objetivo de la medida: Establecer las medidas de reducción del riesgo ante colapsos estructurales en la infraestructura necesaria para la operación del proyecto Minero		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Colapso estructural	
Descripción	<ul style="list-style-type: none">Dar estricto cumplimiento a los diseños estructurales aprobados y a las normas técnicas y constructivas vigentes, garantizando que las edificaciones, tanques, fundaciones y estructuras auxiliares sean construidas y operadas conforme a las cargas y condiciones previstas en el diseño.Realizar estudios geotécnicos y de capacidad portante del suelo previos a la construcción de nuevas estructuras, y considerar estos resultados en el diseño de cimentaciones para prevenir asentamientos diferenciales o fallas estructurales.Implementar programas de inspección y mantenimiento periódico de las estructuras del proyecto, incluyendo edificaciones, plataformas, fundaciones, muros, tanques y soportes, con el fin de identificar oportunamente fisuras, deformaciones, corrosión o deterioro de materiales.Establecer medidas preventivas de contención secundaria en la planta de beneficio, especialmente en las áreas de cianuración, mediante sistemas de bordillos, cubetos y pisos impermeables que permitan recolectar filtraciones y prevenir fugas al medio ambiente en caso de falla estructural.Verificar de manera continua el estado estructural y las condiciones de funcionamiento de los tanques de la planta de beneficio, asegurando que operen dentro de la capacidad de diseño, sin sobrecargas ni modificaciones no autorizadas.Implementar controles para evitar sobrellenado de tanques y equipos, incluyendo sistemas de medición de nivel, alarmas y procedimientos operativos que reduzcan el riesgo de falla por presión o peso excesivo.Capacitar al personal vinculado al proyecto en la identificación de señales tempranas de falla estructural.	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<p>tales como grietas, inclinaciones, ruidos anómalos o filtraciones, y en los protocolos de reporte inmediato y actuación.</p> <ul style="list-style-type: none">• Impartir charlas de sensibilización y entrenamientos periódicos sobre planes de evacuación, identificación de zonas seguras y puntos de encuentro, garantizando una respuesta oportuna en caso de emergencia estructural.• Establecer y mantener actualizados planes de emergencia y contingencia específicos para eventos de colapso estructural, integrados al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo y al plan general de emergencias del proyecto.• Documentar todas las inspecciones, mantenimientos y correctivos estructurales realizados, asegurando la trazabilidad de la información y facilitando la toma de decisiones preventivas y correctivas oportunas.	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante las diferentes fases del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo asociadas falla de la presa de colas		
Nombre de la medida: reducción del riesgo ante la falla de la presa de colas.		
Objetivo de la medida: Establecer medidas que reduzcan el riesgo de falla de la presa de colas.		
Tipo de medida	Estructural: X	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Falla de la presa de colas	
Descripción	<ul style="list-style-type: none">• Instalar y operar un sistema integral de monitoreo geotécnico e hidrológico en la presa de colas, que incluya instrumentación para el control de estabilidad, deformaciones, niveles freáticos y comportamiento del cuerpo de la presa, con registros y análisis periódicos.• Implementar un programa de inspecciones visuales y técnicas rutinarias de la presa de colas, intensificando la vigilancia antes, durante y después de eventos críticos como lluvias extremas, sismos, crecidas extraordinarias o modificaciones operativas.• <u>Establecer protocolos de actuación específicos para condiciones anómalas detectadas en la presa de colas, incluyendo niveles de alerta, responsabilidades claras y medidas correctivas inmediatas para prevenir una falla estructural.</u>• Divulgar de manera permanente y accesible las rutas de evacuación, zonas seguras y puntos de encuentro definidos para escenarios de falla de la presa de colas, tanto al personal del proyecto como a las comunidades potencialmente afectadas aguas abajo.• Implementar, mantener y divulgar un sistema de alerta temprana y alarma, con medios audibles y visuales, dirigido al personal del proyecto y a las comunidades aguas abajo, garantizando su funcionamiento continuo y su activación oportuna en caso de emergencia.	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<ul style="list-style-type: none">• Mantener actualizado, socializado y operativo el plan de manejo de contingencias para la presa de colas, integrándolo al plan general de emergencias del proyecto y coordinándolo con las autoridades competentes y organismos de socorro.• Realizar simulacros periódicos, al menos una vez al año, para la prueba y evaluación del plan de contingencia por falla de la presa de colas, incorporando lecciones aprendidas y ajustes continuos a los procedimientos de respuesta.• Capacitar al personal involucrado en la operación y supervisión de la presa de colas en la identificación temprana de señales de falla, procedimientos de reporte y acciones de respuesta ante diferentes niveles de emergencia.	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante la fase de operación del proyecto	
Medidas de reducción del riesgo asociadas a la falla de la tubería de colas		
Nombre de la medida: reducción del riesgo de falla de la tubería de colas		
Objetivo de la medida: Establecer medidas de reducción de riesgo de falla de la tubería de colas.		
Tipo de medida	Estructural: X	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Falla de la tubería de colas	
Descripción	<ul style="list-style-type: none">• A lo largo de las secciones 1 y 2 de la tubería, se tendrán instalados puntos de drenaje de emergencia, los cuales descargarán en estanques de contención ubicados en los puntos más bajos del trayecto. Estos drenajes se utilizarán en caso de emergencia, cuando no se disponga de las bombas de relaves para lavar las tuberías con agua.• Se tendrán sistemas de detección de fugas para cada sección de la tubería, los cuales permitirán identificar daños en las tuberías. Este sistema incluirá sensores de presión y medidores de flujo en cada sección de la tubería, y un sistema de control que permitirá identificar la ubicación de la falla y dará una alerta en la sala de control.• Se dispondrá de bombas centrífugas adicionales como reserva.• Se contará con una vía vehicular, con el fin de tener acceso a toda la ruta de la tubería para la realización de inspecciones y mantenimientos.• Se inspeccionarán periódicamente las tuberías, las bombas y válvulas para detectar posibles deterioros y pérdidas.• Se verificará la disponibilidad de equipos de protección personal por parte del equipo de respuesta táctica del proyecto.	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<ul style="list-style-type: none">Se evaluarán las condiciones de estabilidad en alrededores del sitio de falla delimitando las áreas seguras desde donde se desarrollarán las tareas de atención de la emergencia y reparación de los daños.	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante la fase de operación del proyecto	
Derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo		
Nombre de la medida: reducción del riesgo de derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo		
Objetivo de la medida: Establecer medidas de reducción de riesgo de derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo.		
Tipo de medida	Estructural: X	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Derrumbe de taludes de los depósitos de material y tajo	
Descripción	<p>Realizar estudios geotécnicos y de estabilidad de taludes en los depósitos de estériles y en los tajos, considerando las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geomecánicas del macizo, y cumplir estrictamente con todas las recomendaciones derivadas de dichos estudios.</p> <p>El diseño de los taludes y depósitos será desarrollado por un profesional competente en geotecnia, incorporando las incertidumbres y variabilidades asociadas a la estructura del macizo rocoso, las condiciones hidrogeológicas, los métodos de explotación, la secuencia de minado, los peligros geológicos, la infraestructura asociada y los requisitos legales aplicables.</p> <p>Los diseños de producción y de voladura en los límites del tajo deberán aportar el soporte técnico necesario, dentro de márgenes de control definidos, para garantizar la estabilidad a corto y largo plazo de las pendientes y de la infraestructura del tajo.</p> <p>Operar los llenos y conformar los taludes estrictamente de acuerdo con los diseños aprobados, respetando los parámetros de corte, alturas máximas, ángulos de talud, bermas de seguridad y sistemas de drenaje.</p> <p>Construir y mantener la infraestructura necesaria para la estabilidad de taludes, incluyendo bermas, drenajes superficiales y subterráneos, canales de coronación, cunetas y obras de control de erosión.</p> <p>Implementar un adecuado control de la escorrentía superficial, asegurando la correcta captación, conducción y evacuación de las aguas en áreas adyacentes a los frentes de explotación y en las zonas de depósito de material sobrante.</p> <p>Instalar instrumentación geotécnica (inclinómetros, piezómetros, prismas topográficos, radares u otros sistemas apropiados) para el monitoreo continuo o periódico de los taludes estratégicos y aquellos identificados como potencialmente inestables.</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<p>Realizar seguimiento permanente del comportamiento de los llenos y taludes mediante la evaluación sistemática de las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas.</p> <p>Verificar de manera periódica la concordancia entre los diseños y las condiciones reales encontradas en campo, con el fin de introducir oportunamente los ajustes o modificaciones necesarias.</p> <p>Identificar, evaluar y actualizar de forma continua los peligros geotécnicos asociados a los taludes, así como sus impactos potenciales sobre el personal, la infraestructura y la operación.</p> <p>Demarcar claramente las zonas de riesgo, restringir el acceso a áreas inestables y comunicar de manera efectiva los peligros al personal operativo y contratistas.</p> <p>Establecer procedimientos operativos y protocolos de actuación ante la detección de movimientos anómalos o condiciones de inestabilidad.</p> <p>Capacitar al personal en el reconocimiento de signos tempranos de falla de taludes y en los procedimientos de reporte y evacuación.</p> <p>Implementar planes de emergencia y contingencia específicos para eventos de inestabilidad o derrumbe de taludes.</p>	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante la fase de operación del proyecto	
Emergencia Sanitaria		
Nombre de la medida: reducción del riesgo de emergencia sanitaria		
Objetivo de la medida: Establecer medidas de reducción de riesgo de emergencia sanitaria.		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	Emergencia sanitaria	
Descripción	<p>Identificar, eliminar y controlar de manera permanente los focos de generación de vectores (aguas estancadas, acumulación de residuos, zonas con deficiente drenaje, entre otros), implementando acciones correctivas oportunas.</p> <p>Garantizar la correcta gestión de los residuos sólidos, dando estricto cumplimiento a lo establecido en el PMA_ABIO_05 – Programa de manejo de residuos sólidos, conforme a lo autorizado en la Licencia Ambiental del Proyecto.</p> <p>Asegurar el adecuado funcionamiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con los cronogramas y especificaciones técnicas establecidas por el fabricante y la normativa vigente.</p> <p>Verificar periódicamente la calidad del agua destinada al consumo humano y a la preparación de alimentos, conforme a los estándares sanitarios aplicables.</p> <p>Realizar el seguimiento continuo al cumplimiento de las normas de higiene y saneamiento en la preparación, manipulación,</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico		
	<p>almacenamiento y distribución de alimentos en el casino del proyecto.</p> <p>Exigir que todo el personal que preste el servicio de alimentación cuente con certificación vigente en higiene y manipulación de alimentos, así como con los exámenes médicos ocupacionales requeridos.</p> <p>Implementar rutinas de limpieza y desinfección de áreas comunes, comedores, servicios sanitarios y zonas de alto tránsito.</p> <p>Establecer un sistema de vigilancia epidemiológica que permita la detección temprana de enfermedades transmisibles y no transmisibles.</p> <p>Disponer de un procedimiento claro para el reporte oportuno de cualquier caso de enfermedad por parte del personal afectado al área de salud ocupacional del Proyecto.</p> <p>Garantizar la evaluación médica, el seguimiento y, de ser necesario, el aislamiento preventivo de los casos detectados, de acuerdo con los protocolos de salud vigentes.</p> <p>Promover campañas periódicas de prevención, educación y sensibilización dirigidas al personal del Proyecto sobre hábitos de higiene, autocuidado, prevención de enfermedades y respuesta ante emergencias sanitarias.</p> <p>Difundir protocolos y canales de comunicación para el reporte de síntomas, eventos sanitarios y situaciones de riesgo.</p> <p>Mantener disponibles insumos básicos para la atención de emergencias sanitarias (elementos de higiene, desinfección y primeros auxilios).</p>	
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	
Periodo de ejecución	Durante la fase de operación del proyecto	
Accidentes de vehículos de carga		
Nombre de la medida: reducción del riesgo de accidentes de vehículos de carga (Derrame de cianuro)		
Objetivo de la medida: Establecer medidas de reducción de riesgo de accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro)		
Tipo de medida	Estructural:	No estructural: X
Tipo de intervención	Correctiva:	Prospectiva: X
Amenazas relacionadas	accidentes de vehículos de carga (derrame de cianuro)	
Descripción	<p>Adquirir el cianuro únicamente a distribuidores y/o fabricantes nacionales o internacionales que garanticen y certifiquen el cumplimiento de prácticas ambientalmente responsables y seguras en la producción, almacenamiento y transporte del producto.</p> <p>Exigir al proveedor la entrega de certificados de fabricación, calidad y cadena de custodia, que acrediten el origen del cianuro, las condiciones de almacenamiento y el cumplimiento</p>	

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico	
	<p>de los estándares internacionales para el manejo seguro de sustancias químicas peligrosas.</p> <p>Verificar que el proveedor cuente con experiencia comprobada, licencias vigentes y cumplimiento de normativas aplicables para la comercialización de cianuro.</p> <p>Establecer contractualmente con la empresa transportadora la obligación expresa de cumplir la legislación ambiental, sanitaria y de transporte de sustancias peligrosas vigente, así como los estándares internacionales aplicables.</p> <p>Incluir en los contratos cláusulas específicas sobre responsabilidades, protocolos de emergencia, seguros, capacitación del personal y sanciones por incumplimiento.</p> <p>Dar estricto cumplimiento a lo establecido en el PMA_ABIO_10 – Programa de Manejo del Cianuro, autorizado en la Licencia Ambiental del Proyecto.</p> <p>Aplicar los controles de validación de vehículos y conductores establecidos en el Plan de Seguridad Vial del Proyecto y del contratista, incluyendo inspecciones técnicas, licencias vigentes, experiencia comprobada y aptitud médica.</p> <p>Garantizar que los vehículos destinados al transporte de cianuro cuenten con las condiciones técnicas adecuadas, señalización reglamentaria articulada al Manual de Señalización (Anexo_PGR_Manual_Señalización), sistemas de contención, equipos de emergencia y mantenimiento preventivo actualizado.</p> <p>Definir rutas autorizadas, horarios controlados y restricciones operativas para minimizar riesgos durante el transporte.</p> <p>Capacitar a los conductores y personal involucrado en el transporte en manejo seguro de cianuro, identificación de riesgos y actuación ante emergencias, conforme a los procedimientos del Proyecto.</p> <p>Asegurar que cada vehículo transporte kits de emergencia y elementos de contención adecuados para la atención inicial de derrames, de acuerdo con los protocolos establecidos.</p> <p>Implementar procedimientos claros de comunicación y notificación inmediata ante cualquier incidente o accidente durante el transporte.</p> <p>Activar de manera inmediata el Plan de Contingencia por Derrame de Cianuro ante la ocurrencia de un accidente, garantizando la protección del personal, la comunidad y el ambiente.</p> <p>Coordinar las acciones de respuesta con las autoridades competentes y los organismos de emergencia, según corresponda.</p>

Reducción del riesgo de desastres ante amenazas de origen operacional / tecnológico	
	Realizar el seguimiento, evaluación y reporte de los incidentes ocurridos, implementando medidas correctivas y preventivas para evitar su recurrencia.
Responsable	Equipo de Gestión del Riesgo de Desastres de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote
Periodo de ejecución	Durante la fase de operación del proyecto

Fuente: Integral S.A., 2025

10.1.3.1.6 Manejo de la contingencia

El componente de manejo de la contingencia se enmarca en el proceso de gestión del riesgo, tal como lo define la Ley 1523 de 2012. Este proceso comprende la preparación para la respuesta ante emergencias, la preparación para la recuperación posdesastre, así como la ejecución de la respuesta y la implementación de acciones de rehabilitación y recuperación posteriores al evento (Ley 1523, 2012). En el contexto del presente Plan de Gestión del Riesgo, el componente de manejo del desastre se materializa en el Plan de Manejo de la Contingencia, cuyo propósito es establecer las medidas de prevención, control y atención frente a posibles situaciones de emergencia derivadas de la materialización de los escenarios de riesgo identificados en este plan. Este componente se estructura en tres planes complementarios, plan estratégico, plan operativo y plan informático. La formulación de estos planes responde a los lineamientos establecidos en los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de proyectos de explotación minera, garantizando una respuesta integral, eficaz y articulada ante posibles contingencias.

El componente de manejo de contingencias está articulado con el Plan de Emergencias SITE, elaborado desde el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) para las instalaciones del proyecto ubicadas en la vereda Providencia y las demás áreas anexas al proyecto. Desde este plan opera el Centro de Control, responsable de atender y coordinar cualquier tipo de emergencia, y donde se centralizan todos los sistemas de seguridad, como el control de accesos, la detección de incendios, diversos servicios y el manejo de llaves.

El Plan de Emergencias SITE se encuentra anexado al Plan de Gestión del Riesgo en el documento Anexo_PGR_Plan_Emergencia_SITE.

A. Plan Estratégico

El Plan Estratégico se formula con base en los resultados del análisis de riesgo, y tiene como objetivo establecer la estructura organizativa y operativa para la atención de emergencias. Este plan contempla la conformación del equipo de atención de emergencias, con la definición clara de sus roles y responsabilidades, garantizando una respuesta coordinada y eficaz ante la ocurrencia de eventos adversos.

Asimismo, incluye el diseño e implementación del programa de capacitación, que abarca actividades de formación, simulaciones y simulacros, orientados a fortalecer las capacidades del personal involucrado en la gestión de contingencias.

El plan también incorpora medidas generales de reducción y mitigación del riesgo, articuladas con las acciones definidas en el componente de reducción del riesgo del

presente Plan de Gestión. Estas medidas buscan minimizar la probabilidad de ocurrencia de emergencias y reducir sus posibles impactos sobre el entorno humano, ambiental y operativo del proyecto.

a. Alcance

El Plan Estratégico establece un alcance el cual aplica a todas las fases del proyecto y cubre el área del proyecto y zonas de probable afectación por la materialización de los diferentes escenarios de riesgo que puedan generar impactos adversos. Dentro de sus componentes principales se destaca:

- Organización para la atención de emergencias: conformación del equipo de respuesta, definición de roles, responsabilidades y cadena de mando.
- Protocolos de actuación: procedimientos de simulaciones y simulacro para la atención de emergencias naturales, socio naturales, antrópicas y operacionales identificadas en el análisis de riesgo.
- Programa de capacitación y entrenamiento: incluye formación continua en temas de gestión del riesgo y emergencias para todo el personal involucrado.

b. Equipo de respuesta de emergencias y manejo de crisis

La estructura organizacional del Plan de Emergencia y Contingencia (PEC) tiene como propósito articular de manera integral a todas las entidades, internas y externas, involucradas en la gestión de incidentes y situaciones críticas. Esta organización permite coordinar la labor del equipo interno de respuesta del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote con las instituciones municipales, regionales y nacionales que intervienen en las emergencias.

En la propuesta estructural diseñada para el PEC de la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se definen claramente los roles y responsabilidades que cada entidad asumirá dentro del sistema de respuesta. Tanto los contratistas como las empresas de interventoría y asesoría que hacen parte de las fases de construcción y operación deben ajustarse a este esquema organizativo. Es relevante señalar que esta estructura puede modificarse conforme avancen las actividades del proyecto y se integren aprendizajes que permitan optimizar los procedimientos de atención, garantizando así intervenciones más seguras y eficaces.

La atención de una emergencia dependerá de su severidad: algunas podrán ser manejadas completamente por el equipo del proyecto, mientras que otras requerirán el apoyo de instituciones externas como CORNARE, las alcaldías de San Roque, Maceo y Caracolí, los Consejos Municipales y Departamentales de Gestión del Riesgo de Desastres, el Sistema y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, así como organismos de socorro como la Defensa Civil, los cuerpos de bomberos y la Cruz Roja.

Considerando los riesgos identificados para las distintas etapas del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y la disponibilidad del personal y de las autoridades locales, se conforma un Equipo de Respuesta a Emergencias encargado de ejecutar el plan y asegurar su adecuado funcionamiento.

La estructura general para el manejo de crisis y emergencias en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se organiza en tres niveles: el Equipo de Manejo de Crisis (CMT), el Equipo de Manejo de Emergencias (EMT) y el Equipo de Respuesta de

Emergencia (ERT), que incluye a los primeros respondientes, brigadistas líderes y coordinadores de evacuación, como se ilustra en la Figura 10.92. Esta estructura y sus divisiones se detallan en el Manual Integral Para la Gestión de Emergencias, Crisis y Continuidad del Negocio - Anexo_PGR_Manual_Gestion_Crisis.

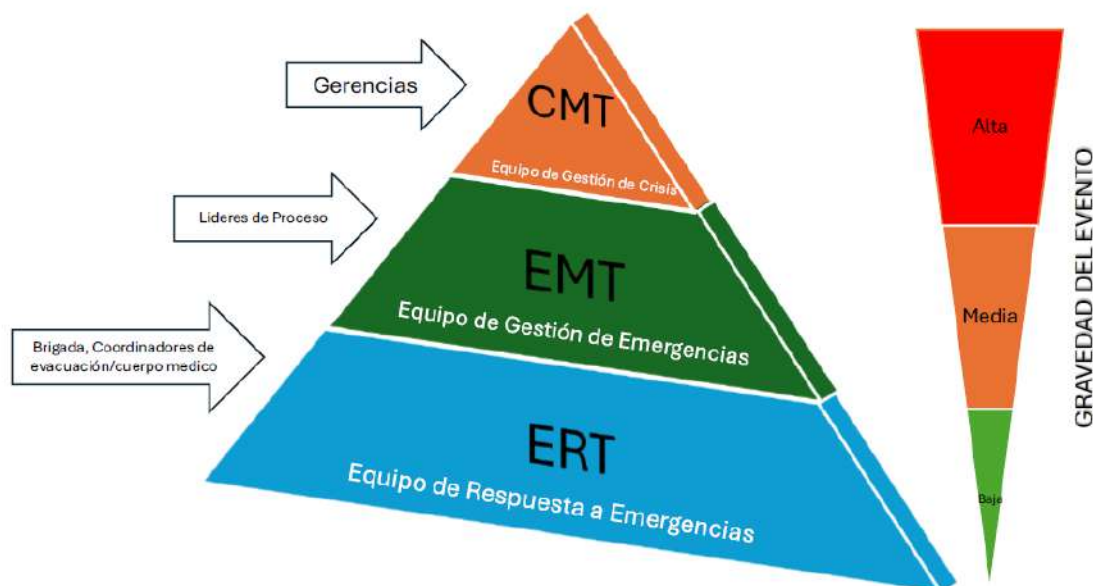


Figura 10.92 Equipo de respuesta ante emergencias

Fuente: Manual Integral para la Gestión de Crisis y Continuidad. Gramalote, 2017

c. Roles y responsabilidades

A continuación, se presenta la descripción de los roles y responsabilidades que conforman la estructura organizativa del Plan de Emergencia y Contingencia del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Esta definición detallada de funciones busca asegurar una coordinación eficiente entre los diferentes equipos y actores involucrados, permitiendo una respuesta oportuna, articulada y efectiva frente a cualquier situación de emergencia o crisis que pueda presentarse durante las etapas de construcción y operación del proyecto.

I. Equipo de Manejo de Crisis - CMT

Es el equipo responsable de manejar la respuesta estratégica y corporativa de las crisis que podrían afectar la imagen, reputación y continuidad del negocio. Es responsable por:

- Recibir y confirmar los hechos con el EMT.
- Administrar la emergencia o crisis a nivel estratégico en la Sala de Crisis.
- Gestionar y monitorear los recursos adicionales para la respuesta al incidente.
- Activar los grupos de apoyo externo y ayuda mutua (interno y externo).
- Recuperar la operación y lograr la continuidad del negocio.
- Preparar y despachar informes al nivel corporativo.

Tabla 10.126 Roles y responsabilidades Equipo de Manejo de Crisis - CMT

Rol	Responsabilidad
Representante de Control de Riesgos	<p>Establecer reforzamiento de la seguridad perimetral o procedimientos especiales (actos de interferencia ilícita)</p> <p>Establecer contacto directo y coordinar recursos con Ejército, Policía y grupos especializados.</p> <p>Garantizar que se asigne la máxima prioridad de seguridad pública a los responsables de las operaciones de respuesta.</p> <p>Alertar o evacuar al personal de respuesta por motivos de seguridad pública.</p> <p>Garantizar la custodia de las evidencias o elementos material de prueba.</p> <p>Apoyar en la gestión de riesgos al representante de Operaciones.</p>
Representante de Exploración	<p>Establecer contacto con contratistas de perforación, para garantizar la activación de los planes de manejo de crisis de los contratistas y que estos se articulen con el de Gramalote.</p> <p>Evaluar y recomendar al líder de CMT, el posible plan de continuidad del negocio para garantizar las operaciones en proyecto.</p> <p>Evaluar las afectaciones en la operación.</p>
Representante del área Legal	<p>Asesorar e informar sobre las responsabilidades e implicaciones legales por impacto a trabajadores, comunidad y medio ambiente.</p> <p>Asesorar sobre comunicados de prensa antes de su publicación.</p> <p>Apoyar la elaboración del reporte de afectación y daños.</p>
Representante financiero	<p>Determinar necesidades financieras inmediatas para la atención de la emergencia.</p> <p>Gestionar contrataciones y pagos de acuerdo con las necesidades del evento.</p> <p>Efectuar el registro de todas las acciones que impacten el presupuesto de contingencias y emergencias.</p> <p>Determinar el balance total por afectación, atención, recuperación o indemnizaciones causadas por del evento.</p> <p>Preparar informe para las aseguradoras o reaseguradoras según corresponda.</p>
Representante de Relacionamento Regional	<p>Garantizar a través de la implementación del sistema de debida diligencia de DDHH y el relacionamiento con ONG's, OCS's, multilaterales y agencias de Gobierno responsables de garantizar los DDHH, el respeto de los DDHH por parte de la compañía.</p> <p>Establecer líneas de comunicación con la prensa, radio y televisión.</p> <p>Preparar los comunicados de prensa a los interesados y medios de información.</p> <p>Hacer seguimiento de la respuesta a los medios de comunicación.</p>

Rol	Responsabilidad
	<p>Garantizar que los medios de comunicación, las agencias gubernamentales y los voceros de los incidentes tengan la información correcta de lo ocurrido. Actuar como vocero del IMT en caso de que el líder lo autorice. Establecer contacto y coordinar actividades de apoyo con entes gubernamentales y entidades de apoyo externo. Garantizar una comunicación constante con los entes Gubernamentales durante la ocurrencia del incidente. Apoyar al representante de comunicaciones a documentar comunicados dirigidos a los entes Gubernamentales.</p>

Fuente: Manual Integral Para la Gestión de Emergencias, Crisis y de Continuidad del Negocio, 2025

II. Equipo de manejo de Emergencias – EMT

Es el equipo responsable de manejar la respuesta a emergencias que podrían poner en riesgo a población trabajadora, instalaciones y/o afectar la continuidad, imagen o reputación de del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Dentro de los roles y responsabilidades del EMT se destacan:

- Recepcionar y confirmar los hechos con el “ERT” y notificar al “CMT” y al Centro de Monitoreo.
- Administrar la emergencia o crisis a nivel estratégico en la Sala de Crisis.
- Gestionar y monitorear los recursos adicionales para la respuesta al incidente.
- Activar los grupos de apoyo externo y ayuda mutua (interno y externo).
- Recuperar la operación y lograr la continuidad del negocio.
- Preparar y despachar informes al nivel corporativo.

Dentro de los miembros del EMT se definen los siguientes roles y responsabilidades descritos en la Tabla 10.127.

Tabla 10.127 Roles y responsabilidades del equipo de manejo de Emergencias - EMT

Rol	Responsabilidades
Líder del EMT	<ul style="list-style-type: none"> - Recepcionar la información y verificar la activación del “EMT”. - Asegurar los recursos requeridos por el “ERT”. - Asegurar la comunicación entre el “EMT” y “ERT”. - Autorizar la difusión de boletines de prensa y a medios de comunicación. - Comunicar a los miembros del EMT/CMT cuándo finalice la emergencia. - Asegurar que los informes y reportes han sido completados y revisados
Representante Legal	<ul style="list-style-type: none"> - Asesorar e informar sobre las responsabilidades e implicaciones legales por impacto a trabajadores, comunidad y medio ambiente. - Asesorar sobre comunicados de prensa antes de su publicación. - Apoyar la elaboración del reporte de afectación y daños.
Representante de recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener un registro de ubicación y status de personas involucradas en el incidente.

Rol	Responsabilidades
	<ul style="list-style-type: none"> - Brindar asistencia en el manejo de crisis post-evento a empleados, contratistas, parientes y comunidad afectados por la emergencia. - Gestionar apoyo por pérdidas humanas para empleados y familiares por el incidente. - Coordinar traslados, visitas o acompañamientos a familiares afectados.
Representante de Derechos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> - Garantizar a través de la implementación del sistema de debida diligencia de DDHH y el relacionamiento con ONGs, OCSs, multilaterales y agencias de Gobierno responsables de garantizar los DDHH, el respeto de los DDHH por parte de la compañía.
Representante de Sostenibilidad (De Asuntos Corporativos)	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer contacto y coordinar actividades de apoyo con entes gubernamentales y entidades de apoyo externo. - Garantizar una comunicación constante con los entes Gubernamentales durante la ocurrencia del incidente. - Apoyar al representante de comunicaciones a documentar comunicados dirigidos a los entes Gubernamentales
Representante Sostenibilidad (Ambiental)	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer contacto y coordinar actividades con las autoridades ambientales - Evaluar el daño medioambiental real o potencial durante el incidente. - Garantizar que se controle la emergencia desde el punto de vista ambiental. - Redactar y documentar informes para las autoridades ambientales. - Activar ayuda externa para el control de emergencias ambientales en caso de requerirse.
Representante Sostenibilidad (Relacionamiento comunitario)	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer y hacer seguimiento a los grupos cuyas actividades puedan influenciar el comportamiento de la comunidad en el transcurso de un incidente. - Recibir y solucionar las quejas y reclamos de los afectados y comunidad. - Coordinar la evaluación de daños y pérdidas a la comunidad afectada - Establecer contacto con líderes de la comunidad - Redactar y documentar informes sobre el evento que tenga relación con la comandad.
Representante de Control de Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer reforzamiento de la seguridad perimetral o procedimientos especiales (actos de interferencia ilícita) - Establecer contacto directo y coordinar recursos con Ejército, Policía y grupos especializados. - Garantizar que se asigne la máxima prioridad de seguridad pública a los responsables de las operaciones de respuesta. - Alertar o evacuar al personal de respuesta por motivos de seguridad pública. - Garantizar la custodia de las evidencias o elementos material de prueba. - Apoyar en la gestión de riesgos al representante de HSE.
Representante de comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Recopila, valida y consolida la información relevante generada por los diferentes equipos operativos para asegurar que los mensajes externos e internos sean precisos y coherentes.

Rol	Responsabilidades
	<ul style="list-style-type: none"> - Garantizar que todos los miembros del equipo, incluidos mando, brigadas y personal de apoyo, reciban información clara y oportuna sobre la evolución del evento y las acciones en curso. - Producir boletines, actualizaciones, reportes públicos, instrucciones al personal, avisos de alerta y otros contenidos necesarios durante la emergencia. - Mantiene un archivo de los mensajes emitidos, comunicaciones oficiales, tiempos de publicación y respuestas recibidas para fines de auditoría, aprendizaje y mejora del plan.

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

III. Equipo de Respuesta Emergencia – ERT

Es el equipo que maneja la respuesta física, inmediata y operativa en el lugar de los hechos: está confirmado por Coordinador de emergencia, Brigada, coordinadores de evacuación, equipo médico y primer respondiente. Es responsable por:

- La ejecución de las acciones tácticas y operativas en la emergencia.
- Asegurar y asignar los recursos y equipos tácticos y operativos de respuesta.
- Hay que asegurar que la respuesta se lleve a cabo de manera segura, organizada y eficaz.
- Coordinar los grupos de apoyo externo para atención de la emergencia.
- Coordinar la evaluación de daños y pérdidas ocasionados por la emergencia.
- Coordinador de Emergencias: Es el Coordinador SISO, le reporta al lidere del ERT.
- Asumir el comando de incidentes en el lugar de los hechos.
- Coordinar las operaciones tácticas y estratégicas de respuesta.
- Garantizar la seguridad integral para las operaciones de respuesta
- Aplicar la estructura de Sistema de Comando de Incidentes (SCI)
- Implementar y supervisar el plan de acción de incidentes (PAI)
- Determinar tipos y números de recursos que serán requeridos para las operaciones de emergencias.
- Determinar cualquier necesidad de ayuda o soporte para equipos, alimentación, higiene y seguridad.
- Vigilar las condiciones de seguridad e implementar las medidas para garantizar la seguridad de todo el personal asignado en la respuesta a la emergencia.
- Monitorear permanentemente la escena y reportar al Líder del ERT el estado de las condiciones, peligros y riesgos.
- Autorizar el ingreso del personal brigadista y externo al sitio de la emergencia.

Dentro de los miembros del ERT se definen los siguientes roles y responsabilidades descritos en la Tabla 10.128.

Tabla 10.128 Roles y responsabilidades del equipo de respuesta a emergencias - ERT

Rol	Responsabilidades
Coordinador de Emergencias	<ul style="list-style-type: none"> - Asumir el comando de incidentes en el lugar de los hechos. - Coordinar las operaciones tácticas y estratégicas de respuesta. - Garantizar la seguridad integral para las operaciones de respuesta - Aplicar la estructura de Sistema de Comando de Incidentes (SCI)

Rol	Responsabilidades
	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar y supervisar el plan de acción de incidentes (PAI) - Determinar tipos y números de recursos que serán requeridos para las operaciones de emergencias. - Determinar cualquier necesidad de ayuda o soporte para equipos, alimentación, higiene y seguridad. - Vigilar las condiciones de seguridad e implementar las medidas para garantizar la seguridad de todo el personal asignado en la respuesta a la emergencia. - Monitorear permanentemente la escena y reportar al Líder del EMT el estado de las condiciones, peligros y riesgos. - Autorizar el ingreso del personal brigadista y externo al sitio de la emergencia.
Brigada de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar en todo momento la seguridad del personal de la organización. - Realizar entrenamientos continuos y realizar simulacros de manera periódica de lucha contra incendios, salvamento de bienes y personal, evacuación, rescate y actividades de primeros auxilios. - Se debe diseñar e implementar métodos de control efectivo y actuación para saber cómo proceder en caso de emergencia - Implementar equipos de alarma como sirenas o establecer códigos de alarma y hacerlos conocer a todo el personal de la organización. - Se debe llevar un control periódico sobre el estado de los sistemas y equipos de protección contra incendios. - Se debe estar preparado para reaccionar inmediatamente ante cualquier imprevisto, contingencia o presencia de un peligro inminente. - Tomar las riendas de las actividades en caso de emergencia, dirigiendo evacuación de personas y salvamento de bienes de valor de la organización. - Asegurarse de que se cumplan las normas establecidas orientadas a la seguridad industrial. - Se debe tener un directorio actualizado de las entidades especializadas de apoyo externo, como hospitales, bomberos, cruz roja, defensa civil y otros organismos, que finalmente darán la atención final a los afectados de una emergencia. - Verificar periódicamente el funcionamiento óptimo de la señal de alarma para que todos los trabajadores evacuen de inmediato, asegurándose en caso se trate de una sirena de que esta sea escuchada por absolutamente todo el personal. - Brindar soporte en la atención de los siniestros viales, bien sea como primer respondiente o como soporte en la atención.
Atención Primeros Auxilios	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer y coordinar todas las acciones en el área de concentración de víctimas (atención, clasificación, transporte y escalonamiento). - Aplicar la guía táctica atención medica de emergencias. - Activar el MEDEVAC

<p>Coordinadores de Evacuación</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Su responsabilidad principal es favorecer la marcha segura, por una ruta segura, a un lugar seguro de los trabajadores de un área. - Portar el distintivo de coordinador cuando se presente una situación de emergencia. - Informar al Puesto de Mando Unificado del número de personas evacuadas, si se presentaron inconvenientes en la evacuación. - Atender y comunicar las órdenes del Puesto de Mando Unificado o del coordinador de brigada al personal de su área o piso. - Son responsables de informar al personal sobre todos los procedimientos de evacuación para que, en caso de una emergencia, cada persona conozca la ubicación de las salidas de emergencias. - Informar a todos los empleados y al personal sobre la designación del punto del encuentro. - En caso de una evacuación, tienen la responsabilidad de asegurarse que el plan se ha seguido y que todos los empleados y el personal han sido evacuados con seguridad del área. - Asegurar que los empleados se dirijan hacia las áreas designadas. - Mantenerse en comunicación constante con el coordinador de emergencia para mantenerlo informado sobre la seguridad de la organización. - Entregar las instrucciones de una evacuación para asegurar que todos en el área estén cómodos y familiarizados con la rutina de evacuación. - Colaborar con el área HS o brigadistas en las inspecciones periódicas de los equipos de detección, alarma y control de incendios, señalización, vías de evacuación, iluminación de emergencia. - Corroborar el buen funcionamiento de los elementos de detección, alarma y control de incendios, incidiendo y señalización de emergencia. - Al sonar la señal acústica de alerta acudir y colaborar con el Coordinador de Emergencia en aquello que estos consideren necesario. - Una vez transmitida la orden de evacuación, proceder de inmediato a la evacuación. Se situarán en las zonas asignadas y dirigirán a los evacuados hacia el punto de encuentro. - Auxiliar a las personas con movilidad reducida o con condiciones especiales. - Coordinar la agrupación de los evacuados y la elaboración de las listas con el nombre de los evacuados. - Identificar la edificación, sus amenazas, su vulnerabilidad y sus niveles de riesgo. - Observar situaciones de riesgo y notificarlas al Comité de Emergencia. - Conocer el Plan de Evacuación y contribuir con su actualización. - Identificar las personas que trabajan en el área y mantener un listado actualizado de las mismas. - Participar en el entrenamiento de los empleados nuevos y antiguos sobre los procedimientos del Plan de Evacuación. - Verificar el estado de las rutas de evacuación y del sistema de notificación.
------------------------------------	--

Rol	Responsabilidades
	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar los procedimientos desarrollados durante los entrenamientos y las evacuaciones por situaciones reales, archivando esta información en los formatos preestablecidos. - Identificar los sitios seguros y la ubicación de los elementos de seguridad (extintores, camilla, botiquín, señalización rutas de evacuación, salidas de emergencia) en el piso. - Participar en los talleres, conferencias, seminarios, reuniones que se programen para mejorar su desempeño.

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

IV. Grupos externos de atención de emergencias

La magnitud de un incidente puede fluctuar ampliamente: algunos eventos serán menores y podrán resolverse únicamente con los recursos disponibles en las instalaciones del proyecto, mientras que otros pueden alcanzar proporciones que excedan la capacidad de respuesta interna. En estos casos será necesario solicitar el apoyo de entidades externas, entre ellas fuerzas militares y de policía, organismos de socorro como bomberos, Cruz Roja y Defensa Civil, instituciones de salud pública, autoridades ambientales y los grupos de ayuda mutua con los cuales existan convenios de cooperación. También podrán intervenir las instancias oficiales de gestión del riesgo: los Consejos Municipales (CMGRD), el Consejo Departamental (CDGRD), el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia - DAGRAN, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD).

En emergencias que requieran la presencia de actores adicionales a los mencionados, el Líder de Emergencia designado por la Compañía deberá identificar las funciones que corresponderán a cada institución y establecer los mecanismos de coordinación necesarios. Estos equipos externos operarán normalmente bajo la estructura del CDGRD o del CMGRD, dependiendo del nivel territorial en el que se desarrolle la emergencia.

Cuando varias entidades participen simultáneamente en la respuesta y se active un Puesto de Mando Unificado (PMU), el Líder del Equipo de Manejo de Emergencias (EMT) deberá nombrar un funcionario de enlace entre la Compañía y las instituciones externas. La elección de este enlace dependerá tanto del tipo de emergencia como del personal disponible: para derrames se privilegiará a un profesional del área ambiental; para incendios, accidentes o eventos asociados a condiciones naturales, el candidato ideal será el Coordinador SISO; y para incidentes de carácter social o de orden público, la función recaerá preferentemente en la Coordinación de Control de Riesgos.

El PMU tiene como finalidad integrar y coordinar de manera eficiente el trabajo de todas las instituciones involucradas en la emergencia. Su ubicación se establecerá fuera del área de peligro, pero lo suficientemente cerca para garantizar una gestión operativa efectiva. Sus objetivos principales consisten en mejorar los flujos de comunicación entre las entidades participantes, consolidar un enfoque unificado de respuesta, definir responsabilidades y optimizar los recursos disponibles. Este puesto estará conformado por representantes operativos de más alto nivel de los CMGRD, CDGRD y SNGRD, quienes, junto con los comandantes de Incidentes de cada institución y el del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, serán responsables de la toma de decisiones.

Entre sus funciones se encuentran recibir y distribuir información proveniente de la zona afectada y del punto de encuentro, mantener informados a los medios de comunicación, reportar novedades sobre el personal y transmitir a los cuerpos de socorro cualquier información crítica para el control de la situación. Cabe reiterar que el PMU puede funcionar como un espacio físico o virtual, y su localización se definirá una vez se active la cadena de llamadas, decisión que tomará el comité responsable de la emergencia.

d. Apoyo a terceros

El Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se integra plenamente con los instrumentos de planificación territorial y los sistemas de respuesta a emergencias existentes en su zona de influencia. En este sentido, el proyecto se articula con la Estrategia para la Respuesta a Emergencias del Departamento de Antioquia y con el Plan Municipal de Gestión del Riesgo del Municipio de San Roque, documentos que establecen las estructuras institucionales y comunitarias encargadas de la atención de eventos críticos.

Cabe resaltar que de acuerdo con el Manual Integral para la Gestión de Emergencias, Crisis y Continuidad del Negocio (Anexo_PGR_Manual_Gestion_Crisis), el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote cuenta un Plan de Ayuda Mutua (Anexo_PGR_Plan_de_Ayuda_Mutua) el cual Es un convenio voluntario y de mutuo beneficio para que solo en caso de emergencia, las partes se comprometan a prestar, eventualmente, la ayuda que se requiera en cuanto a: asistencia técnica, equipos, herramientas, materiales y apoyo logístico entre otros.

Esta articulación garantiza que el proyecto no opere de manera aislada, sino en coordinación con las autoridades competentes y los organismos responsables de la gestión del riesgo. Entre estos se destacan el DAGRAN, el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia (CDGRD), el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de San Roque (CMGRD) y las instancias de los municipios aledaños, tales como Maceo y Caracolí. La vinculación con estas entidades permite complementar capacidades, facilitar la interoperabilidad entre equipos de respuesta y fortalecer los mecanismos de apoyo mutuo ante situaciones que superen la capacidad operativa del proyecto o que afecten a comunidades cercanas.

e. Capacitación

El programa de capacitación y entrenamiento tiene como propósito asegurar que todo el personal vinculado al Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote cuente con las competencias necesarias para actuar eficazmente ante cualquier situación de emergencia. Para ello, es indispensable que quienes integran los equipos de respuesta y de manejo de crisis comprendan a fondo los contenidos, procedimientos y lineamientos establecidos en el Plan de Emergencia y Contingencia (PEC).

El personal encargado de tareas operativas y del manejo de maquinaria especializada recibe capacitaciones enfocadas en la reducción de riesgos inherentes a sus actividades. De igual manera, se desarrollan sesiones informativas sobre las acciones que deben ejecutarse durante una emergencia y sobre las conductas seguras en las diferentes áreas de trabajo.

Asimismo, los miembros de las brigadas de emergencia, los equipos de primeros auxilios y los coordinadores de evacuación deben mantenerse en constante capacitación para anticipar, controlar y responder adecuadamente a los incidentes. Por esta razón, se

brindará instrucción específica relacionada con los riesgos identificados, así como en temas esenciales para la gestión de emergencias: protección del brigadista, salvaguarda de bienes, primeros auxilios, manejo y traslado de víctimas, control de incendios, y técnicas de búsqueda y rescate. Cada frente de operación deberá contar con representantes de estos equipos para asegurar una respuesta inmediata y coordinada ante cualquier eventualidad. Para garantizar una formación continua en gestión del riesgo y atención de emergencias se define el siguiente programa de entrenamiento y capacitación del personal descrito en la Tabla 10.129.

Tabla 10.129 Programas de entrenamiento y capacitación del personal

Gripo objetivo	Intensidad	Modalidad	Tema
Equipo de Manejo de Crisis (CMT)	1 hora	(T)	Plan de gestión del riesgo
			Manejo de Crisis y Continuidad
Equipo de Respuesta de Emergencias EMT y EMT	2 horas	(T) (P)	Plan de gestión del riesgo
			Comando de Incidentes
			Manejo de comunicaciones en emergencias
			Procedimiento para notificación de emergencias
			Sistema de alerta y alarma
Líder de la Emergencia ERT	24 horas	(T) (A) (P)	Plan de gestión del riesgo
			Manejo de Crisis y Continuidad
			Comando de Incidentes
			Manejo de comunicaciones en emergencias
			Procedimiento para notificación de emergencias
			Sistema de alerta y alarma
			Uso adecuado de equipos y sistemas de comunicación
Coordinador de Emergencias	8 horas	(T)	Procedimiento general de emergencia y Pons/Planes de contingencia/ Guías tácticas
			Sistema comando de incidente
Brigadistas	40 horas	(T) (A) (P)	Atención médica de emergencia
			Guía de asistencia médica
			Manejo de Extintores
			Curso Bomberos
			Manejo Señalización
			Manejo de emergencias ambientales
			Manejo y Transporte de lesionados
			Manejo de productos peligrosos y derrame de estos
			Nivel de Primer Respondiente (PRIMAP)
			Plan de evacuación
Empleados y Contratistas	8 horas	(T) (P)	Entrenamiento a todos los empleados sobre cómo actuar en caso de una emergencia de las identificadas en el presente plan.
Vigilantes	4 horas	(T) (P)	Procedimientos para emergencias

Gripo objetivo	Intensidad	Modalidad	Tema
Consejo Municipal de la Gestión del Riesgo de Desastre (CMGRD)	2 horas	(T)	Sensibilización frente a la gestión del riesgo
Comunidad del área de influencia			Organización comités de emergencia Socialización plan de gestión del riesgo Sistema Comando de Incidentes Sistema de alerta y alarma Plan de evacuación y señalización
Consejo Municipal de la Gestión del Riesgo de Desastre (CMGRD)	4 horas	(T) (A)	Mapa del territorio
Comunidad del área de influencia			Identificación de riesgos
			Organización comités de emergencia
			Socialización plan de gestión del riesgo
			Curso básico de Sistema Comando de Incidentes
	Sistema de alerta y alarma		
	Plan de evacuación y señalización		
Consejo Municipal de la Gestión del Riesgo de Desastre (CMGRD)	4 horas	(P)	Simulacros de emergencia
Comunidad del área de influencia			
Personal del proyecto			

T = Teórica; A = Ejercicios de Aula; P = Práctica de Campo

Fuente: Integral S.A., 2025

Además del programa interno de formación dirigido al personal y a los distintos grupos y brigadas que conforman el Plan de Emergencia y Contingencia, se contempla un trabajo coordinado con las instituciones externas presentes en el área de influencia del proyecto. En este marco, y en articulación con los hospitales de los municipios cercanos, el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre (CMGRD) de San Roque y el cuerpo de bomberos de este mismo municipio, se llevarán a cabo simulacros y jornadas de capacitación conjuntas. Estas actividades permitirán fortalecer las capacidades de respuesta ante eventos críticos y asegurar que el Plan de Contingencia se mantenga actualizado y plenamente operativo.

f. Simulaciones y simulacro

V. Simulaciones

Un ejercicio de simulación consiste en un juego de roles llevado a cabo en un entorno controlado, usualmente en una sala o aula, motivo por el cual se les denomina "ejercicios de escritorio". En este tipo de simulaciones participan los responsables de la toma de decisiones y los actores clave del proyecto, y se desarrollan en base a situaciones hipotéticas derivadas del análisis de riesgos del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, así como de las estrategias de respuesta y los protocolos establecidos (UNGRD, 2016). De este modo, se sugiere realizar simulaciones enfocadas en los riesgos de deslizamientos de tierra y colapso de taludes, derrames de sustancias químicas, y accidentes tanto vehiculares como con maquinaria.

VI. Simulacro

Los simulacros cumplen diversas funciones: permiten sensibilizar al personal frente a los riesgos, poner en marcha y evaluar el Plan de Manejo de Emergencias y Contingencias, practicar los procedimientos definidos, y socializar su contenido para que los trabajadores estén preparados ante una situación real. Asimismo, ayudan a identificar fallas, actualizar la planificación, medir la capacidad del equipo para responder, disminuir los tiempos de reacción, conocer la verdadera eficiencia operativa, revisar los mecanismos de activación de recursos y coordinar las acciones con las entidades externas de apoyo.

Se recomienda implementar dos modalidades de simulacros: los programados, que se anuncian previamente con el fin de orientar al personal sobre rutas de evacuación y puntos de encuentro, y los no avisados, que se ejecutan sin previo aviso para evaluar el comportamiento espontáneo ante una emergencia.

La preparación del ejercicio incluye reuniones con el grupo responsable de la organización y, si se requiere, con quienes participarán, con el fin de definir metas, alcance, herramientas de evaluación, funciones, diseño de escenarios, logística, estrategias de comunicación y revisión de los materiales necesarios.

Cada simulacro debe contar con objetivos específicos y generar un informe final con recomendaciones respecto a los procedimientos puestos a prueba, información que apoyará el fortalecimiento del sistema de gestión. Estas actividades se desarrollan en tres fases: planeación y alistamiento, ejecución del ejercicio y evaluación con retroalimentación para todo el personal involucrado.

En el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se elabora un plan anual de simulacros que incluye temáticas como incendios forestales, accidentes viales, derrames de sustancias químicas y la participación en el simulacro nacional de evacuación, tal como se presenta en el Anexo_PGR_Simulacros. El objetivo principal es mejorar la capacidad de respuesta de quienes trabajan en el proyecto.

Además, los integrantes del equipo de atención de emergencias y de manejo de crisis cuentan con una programación específica de entrenamientos y simulacros, descrita en la Tabla 10.130. Entre estas actividades se contempla un simulacro anual con participación comunitaria, especialmente dirigido a la población ubicada aguas abajo de la presa de colas. También se desarrolla cada año un ejercicio que integra a las entidades de apoyo externo, como Bomberos, Defensa Civil, Policía y otras organizaciones pertenecientes al Consejo Municipal de Gestión del Riesgo.

Tabla 10.130 Frecuencia de entrenamientos y simulacros de los equipos de manejo de crisis y emergencias

Equipo	Inducción (Rol específicos)	Notificación Equipo Prueba de llamadas	Ejercicio de Escritorio	Ejercicio de Campo
CMT	Al ingresar	Semestral	Bienal	N/A
EMT	Al ingresar	Semestral	Anualmente	Anualmente (cronograma)
ERT	Al ingresar	Semestral	N/A	Anualmente (cronograma)

Fuente: Manual Integral Para la Gestión de Emergencias, Crisis y de Continuidad del Negocio, 2025

B. Plan Operativo

El plan operativo define los lineamientos esenciales para responder ante una contingencia y describe cómo debe activarse y funcionar el sistema de atención de emergencias. En él se especifican los procesos de notificación, la estructura organizacional y la forma en que deben coordinarse las distintas áreas cuando sea necesario poner en marcha el plan de contingencia. También determina las acciones inmediatas que deberán ejecutar las diferentes coordinaciones y dependencias de la Compañía tras la ocurrencia de un evento adverso, con el propósito de restablecer las operaciones del proyecto en el menor tiempo posible.

Dentro del Plan de Emergencias y Contingencias, el plan operativo contempla entre otros elementos, los niveles de emergencia y de alarma, los criterios de activación, las prioridades de respuesta y un conjunto de Guías Tácticas orientadas a la gestión técnica de las contingencias. Estas guías cumplen una función netamente operativa, indicando las acciones específicas a seguir, especialmente en situaciones donde el impacto del evento puede generar desorientación o cuando no se cuenta con todo el personal necesario. En estos escenarios, disponer de un plan claro resulta fundamental.

Los planes operativos incluidos en este documento se enfocan en amenazas puntuales, especialmente aquellas que pueden manifestarse durante las fases de construcción y operación y extenderse más allá de las zonas de trabajo del proyecto, como fallas en las presas, explosiones o derrames. En otras palabras, abordan emergencias con el potencial de generar daños significativos tanto en las instalaciones del proyecto como en las comunidades cercanas y en los ecosistemas externos al área de intervención directa del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

a. Alcance

El alcance del plan operativo abarca la definición de los procedimientos, responsabilidades y mecanismos necesarios para activar y ejecutar la respuesta institucional ante cualquier contingencia que afecte el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Este plan se aplica a todas las áreas y dependencias involucradas en la atención de emergencias, y cubre tanto los eventos que puedan ocurrir dentro de las zonas de construcción y operación como aquellos que, por su magnitud, puedan trascender los límites del proyecto y generar impactos en comunidades cercanas o en el entorno natural. Su finalidad es garantizar una respuesta rápida, ordenada y eficaz que permita minimizar daños y restablecer la funcionalidad del proyecto en el menor tiempo posible.

b. Niveles de emergencia

La clasificación de los niveles de emergencia permite al Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote establecer criterios precisos para activar acciones y asignar de manera eficiente los recursos humanos, tecnológicos y de infraestructura destinados a la atención de incidentes. Esta categorización se fundamenta en la identificación de elementos vulnerables y en las prioridades de protección dentro del área de influencia del proyecto, tanto en el ámbito local como regional. La cantidad y tipo de recursos requeridos dependen, principalmente, de la naturaleza del evento, su magnitud y el alcance de sus consecuencias; no obstante, también influyen factores como las condiciones específicas de la emergencia, su origen y las particularidades del escenario en el que se desarrolla. A continuación, se presentan los niveles de emergencia aplicables al proyecto:

I. Nivel leve – Incidente menor C1 - C2

Corresponde a situaciones que pueden ser controladas de manera inmediata mediante acciones básicas internas, sin que se propaguen ni afecten otras zonas fuera del área de operaciones. Podría requerir la evacuación puntual de trabajadores hacia sectores seguros, pero no genera impactos significativos ni altera la continuidad de las actividades del proyecto. No compromete más de un equipo o área específica y no requiere apoyo externo, ya que puede ser gestionado completamente con los recursos propios de la Compañía. Las posibles afectaciones a personas pueden ser atendidas por los servicios médicos internos y no existe repercusión alguna sobre comunidades externas.

II. Nivel moderado – Incidente medio C3 - C4

Este nivel implica emergencias que demandan la articulación con recursos del plan de ayuda mutua, servicios públicos de emergencia y autoridades municipales, como el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) de San Roque. El evento puede impactar a comunidades cercanas, llegar a causar al menos una fatalidad y requerir la evacuación parcial del personal hacia zonas seguras o fuera del proyecto. Incluso puede ser necesaria la evacuación de sectores de la población ubicada en el área de influencia. La magnitud del incidente puede justificar la declaratoria de emergencia local por parte de las autoridades competentes.

III. Nivel grave – Incidente mayor

Estos eventos superan la capacidad de respuesta local y exigen la intervención de organismos regionales y nacionales, como el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD) de Antioquia, el DAGRAN o el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Las consecuencias pueden incluir daños significativos a terceros dentro del área de influencia y la ocurrencia de fatalidades, lo que puede llevar a la declaratoria de emergencia departamental o nacional debido a la gravedad del incidente.

c. Alerta, alarma y niveles de activación

I. Alerta

La alerta corresponde a una condición declarada por las autoridades competentes o por el Equipo de Manejo de Crisis (CMT), cuyo propósito es activar medidas preventivas ante la posibilidad inminente de que ocurra un evento adverso. Este estado funciona como una señal anticipada que permite reforzar la vigilancia, preparar recursos y adoptar acciones preliminares que reduzcan el impacto potencial de la emergencia.

En el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, los distintos niveles de alerta que establecen el grado de preparación y respuesta necesario se encuentran especificados en la Tabla 10.131. Estos niveles permiten diferenciar entre situaciones de monitoreo preventivo, condiciones de amenaza moderada y escenarios de inminente ocurrencia del evento, garantizando así una reacción oportuna y coordinada entre las áreas operativas, administrativas y de gestión del riesgo.

Tabla 10.131 Niveles de alerta en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote

Nivel	Código	Estado declarado
Nivel 1	Alerta verde	Estado de normalidad
Nivel 2	Alerta amarilla	Estado de observación de señales críticas o susceptibles a el detonante de la amenaza
Nivel 3	Alerta naranja	Estado de alistamiento y disponibilidad de reacción ante posible materialización de la emergencia
Nivel 4	Alerta roja	Reacción inmediata

Fuente: Integral S.A., 2025

Es importante resaltar que estos niveles se encuentran alineados a lo definido tanto en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo del municipio de San Roque ((CMGRD C. M., 2017) y a la Estrategia Departamental para la Respuesta a Emergencias (EDRE) del departamento de Antioquia (CDGRD, 2018). Quienes definen estos códigos de alerta en los componentes de preparación para la respuesta.

II. Alarma

Se trata de una notificación generada por las autoridades competentes o por el Equipo de Manejo de Crisis (CMT) del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, cuyo objetivo es indicar la necesidad de seguir instrucciones concretas ante la existencia o inminencia de una situación de emergencia. Esta advertencia se comunica mediante una señal sonora de alarma destinada a alertar de forma inmediata al personal.

Los distintos niveles de activación de la alarma establecidos para el proyecto se encuentran detallados en la Tabla 10.132.

Tabla 10.132 Niveles de activación de alarma

Nivel de activación	Definición	Acciones	Responsable de Activación
1	El Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote dispone de la capacidad para atender emergencias mediante sus grupos de intervención, liderados por el Equipo de Respuesta a Emergencias (ERT) y la brigada de emergencia.	El Equipo de Respuesta a Emergencias (ERT) realiza monitoreos e inspecciones periódicas de los elementos y rutas de emergencia, y se mantiene en permanente estado de alistamiento para atender cualquier eventualidad. Brinda atención primaria conforme a la activación del sistema de emergencias y a las solicitudes de las áreas involucradas. Asimismo, evalúa los incidentes atendidos, documenta los resultados y elabora informes que permiten identificar lecciones aprendidas y oportunidades de mejora para la brigada de emergencia. Durante estas actividades, las operaciones del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote continúan desarrollándose con normalidad.	ERT

Nivel de activación	Definición	Acciones	Responsable de Activación
2	Requiere suspender actividades en el área afectada, atendiendo la situación con los recursos propios de la instalación.	El líder del ERT evalúa la situación reportada y activa el sistema de coordinación de emergencias a través del coordinador designado, con el fin de conformar los equipos de intervención requeridos. Cuando la magnitud del evento lo amerita, se notifica y convoca a la alta dirección. Las demás áreas del proyecto que no se vean comprometidas por la emergencia continúan desarrollando sus funciones y responsabilidades de manera habitual.	Líder ERT
3	Es necesario declarar una situación de crisis en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote	Bajo la dirección del líder del Equipo de Manejo de Emergencias (EMT) se establecerá la coordinación integral de la emergencia, lo que implica la suspensión temporal de las actividades, funciones y competencias del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Asimismo, se activará la articulación con el CMGRD del municipio de San Roque y se gestionará el apoyo de los mecanismos de ayuda mutua y de los organismos de socorro correspondientes.	Líder EMT

Fuente: Integral S.A., 2025

d. Plan de evacuación

Cuando se active la alarma de evacuación, el personal deberá desplazarse ordenadamente por las rutas establecidas hasta los puntos de encuentro designados. El coordinador de evacuación dirigirá todo el proceso, por lo que se deberán acatar sus instrucciones y las de los brigadistas en cada etapa del recorrido.

Al llegar al punto de encuentro, se realizará el conteo y verificación del personal para confirmar que todas las personas hayan evacuado de manera segura. Posteriormente, se seguirán las orientaciones emitidas por el coordinador de la emergencia y, de ser necesario, por las autoridades competentes, quienes determinarán las acciones a continuar.

I. Rutas de evacuación

Las rutas de evacuación son trayectos previamente planificados para permitir que el personal del proyecto y, cuando aplique, la comunidad cercana, se desplacen hacia zonas seguras en el menor tiempo posible y bajo condiciones que garanticen su protección. Estos recorridos se establecen desde el lugar donde se genera la emergencia hasta los refugios o puntos seguros definidos por el equipo responsable del plan de evacuación de la Compañía.

La selección de cada ruta depende de las características específicas del evento, considerando factores como la dirección del viento, el nivel de accesibilidad, las condiciones

del terreno y la viabilidad de la movilización. Su definición y habilitación estarán a cargo de personal especializado que apoya la atención de la emergencia, asegurando que las alternativas escogidas representen la opción más segura para las personas involucradas.

En los puntos de encuentro asignados para cada instalación, el coordinador de evacuación será quien imparta las instrucciones necesarias durante el proceso de evacuación y coordine la verificación del personal.

Para la comunidad, las rutas de evacuación corresponderán a los caminos y vías existentes, dado que los eventos identificados que podrían requerir evacuación incluso bajo el escenario más crítico, como la posible rotura de la presa, no se desarrollan de manera súbita, lo que permite contar con tiempo suficiente para desplazarse hacia los puntos de encuentro establecidos.

Tanto las rutas de evacuación como los puntos de encuentro podrán ajustarse o redefinirse según avance el proyecto y cambien las condiciones operativas, garantizando que continúen siendo adecuados, funcionales y seguros en cada fase del desarrollo del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

II. Puntos de encuentro

Los puntos de encuentro son lugares previamente seleccionados por su seguridad y debidamente señalizados para tal fin, donde se concentrará el personal evacuado durante una emergencia. En estos sitios se realizará el conteo del personal con el objetivo de verificar que todas las personas hayan sido evacuadas de manera correcta y evaluar la eficiencia del proceso de evacuación.

Para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, los puntos de encuentro se definen de manera estratégica, dividiéndolos por áreas de trabajo según la densidad de personal en cada sector. Esto permite organizar la evacuación de forma ordenada y minimizar riesgos durante el traslado hacia zonas seguras.

Al igual que las rutas de evacuación, los puntos de encuentro se revisarán y ajustarán periódicamente, considerando los avances del proyecto, los cambios en las instalaciones y las condiciones operativas, con el fin de garantizar que continúen siendo accesibles, seguros y eficaces en todas las fases del desarrollo del proyecto.

e. Prioridades para la respuesta

En caso de materializarse alguna de las amenazas identificadas, la atención de la emergencia se enfocará en los siguientes elementos, priorizados para garantizar una respuesta rápida y eficaz:

- **Protección de las personas (vida y salud):** La prioridad máxima es salvaguardar la vida y la integridad física de todos los involucrados, incluyendo trabajadores del proyecto, contratistas y miembros de las comunidades vecinas que puedan verse afectadas. Esto implica la activación inmediata de protocolos de evacuación, atención médica y apoyo humanitario.
- **Protección del medio ambiente:** Se dará especial atención a minimizar impactos sobre los recursos naturales cercanos al área del proyecto, incluyendo cuerpos de agua, suelos y cobertura vegetal. La preservación del entorno busca reducir daños

ambientales que puedan tener efectos secundarios sobre la salud humana y la biodiversidad.

- **Protección de activos de la compañía y de terceros:** Se priorizará la seguridad de la infraestructura crítica, equipos, instalaciones y bienes de la Compañía, así como de activos de terceros que puedan verse involucrados en la emergencia, con el objetivo de limitar pérdidas materiales y facilitar la recuperación posterior.
- **Continuidad de la operación:** Una vez aseguradas la vida de las personas, la protección ambiental y la seguridad de los activos, se considerará la reanudación ordenada de las actividades del proyecto para minimizar interrupciones y garantizar la sostenibilidad de las operaciones.

Estas prioridades deben ser aplicadas de manera secuencial y coordinada, asegurando que los recursos disponibles se utilicen de manera eficiente y que la respuesta sea coherente con la magnitud y características de la emergencia.

f. Protocolos y procedimientos de respuesta ante emergencias

I. Protocolo general ante una emergencia

La activación de los equipos de emergencia se realizará conforme a los niveles de emergencia establecidos para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, tal como se presenta en la Figura 10.93. Estos niveles se determinan según el alcance y la severidad de las consecuencias asociadas al evento, incluyendo la extensión territorial afectada, el impacto sobre personas, bienes y servicios, así como los efectos sobre el medio ambiente, entre otros criterios relevantes.

Las categorías de emergencia, clasificadas desde C1 hasta C6, se derivan de la matriz de evaluación de riesgos contemplada en este PGR. La caracterización y definición de cada nivel se encuentra detallada en la Tabla 10.109 donde se establecen los parámetros que orientan la respuesta y movilización de los recursos operativos y especializados.

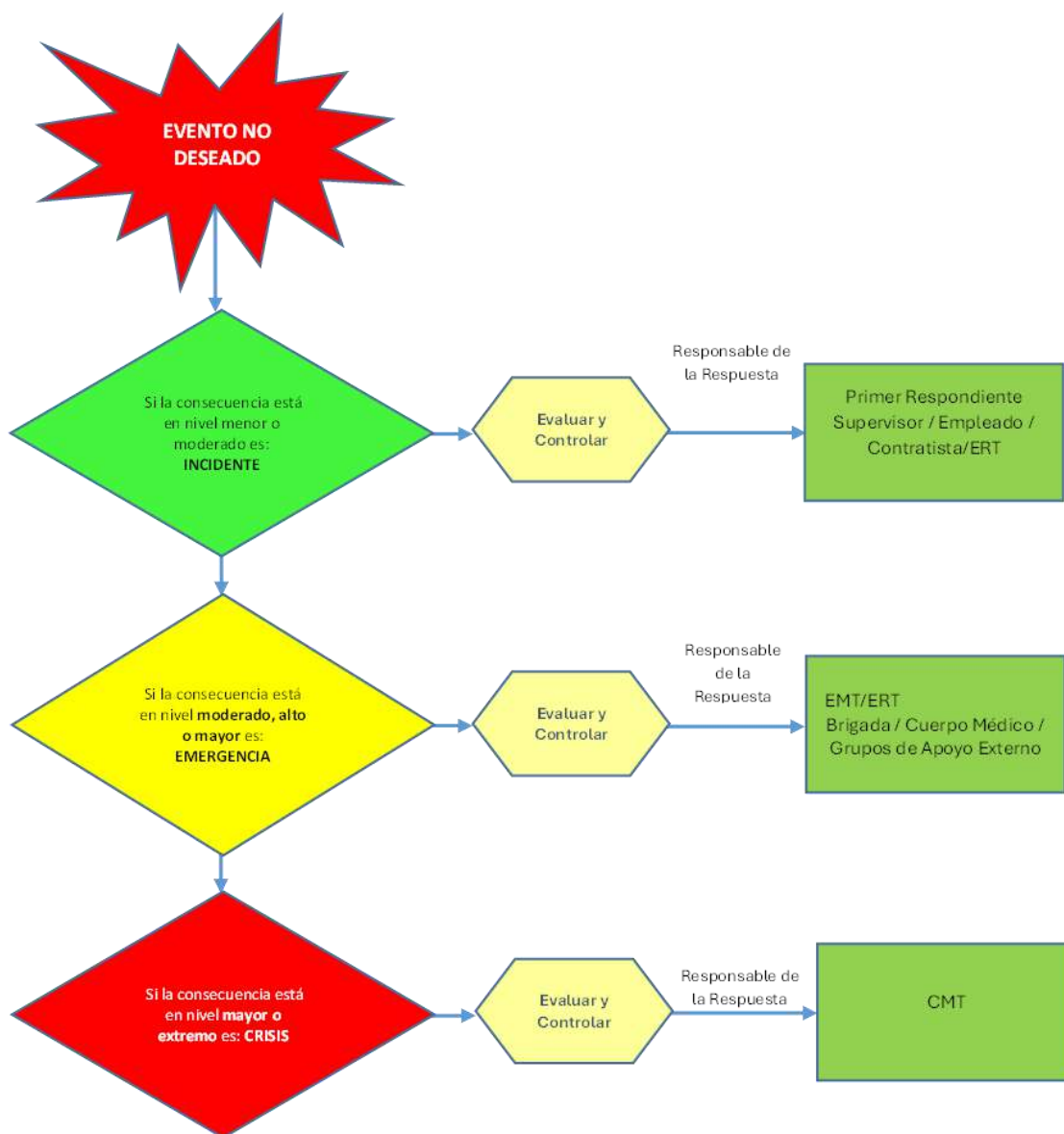


Figura 10.93 Niveles de consecuencias y activación de los equipos de emergencia

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026. GC-SST-MA-003

Previo a la ejecución de cualquier acción operativa, es fundamental contar con un proceso claro y ordenado que permita activar de manera oportuna los mecanismos de respuesta establecidos en el Plan de Emergencias y Contingencias del de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. A continuación, se describe, paso a paso, las actuaciones iniciales que deben llevar a cabo el personal interno, el Centro de Monitoreo y los equipos de respuesta ante la detección de una situación de emergencia, garantizando una coordinación efectiva, la movilización adecuada de recursos y la protección de las personas, las instalaciones y el entorno. Es importante destacar que estos protocolos y procedimientos de respuesta se encuentran articulados a las Guías Tácticas de Respuesta descritos en el

Anexo_PGR_Guias_Tacticas y a los Procedimientos Operativos Normalizados del proyecto dentro de los cuales se destaca, entre otros, el protocolo para la activación y movilización de equipos de respuesta a emergencias y el protocolo por activación para evacuación descritos en el Anexo_PGR_PONs. **Adicionalmente, en función de los escenarios de riesgo por movimientos en masa que incluye los escenarios de riesgo asociados a una eventual falla de los depósitos R y El Torito se elaboró el Procedimiento Operativo Normalizado GC-SST-PT-015 – PON Movimiento en Masa, incorporado en el Anexo_PGR_PONs, mediante el cual se establecen las acciones y responsabilidades para la respuesta ante la detección o materialización de movimientos en masa.**

Este procedimiento es aplicable a los escenarios de inestabilidad identificados en el proyecto, incluyendo la eventual falla de los depósitos R y El Torito. Su activación contempla la notificación y verificación del evento, activación del equipo de respuesta, establecimiento del Sistema de Comando de Incidentes, delimitación y aislamiento del área, evacuación de las personas expuestas, evaluación geotécnica, búsqueda y rescate cuando las condiciones de seguridad lo permitan, manejo de eventos asociados, estabilización y recuperación.

Para los depósitos R y El Torito, la activación se articula con el sistema de monitoreo geotécnico y el Sistema de Alertas Tempranas, de manera que las condiciones identificadas mediante instrumentación e inspecciones puedan generar acciones preventivas antes de la materialización del movimiento. El PGR establece que ante una condición de alerta roja se activa el plan de emergencia para proteger a los trabajadores y comunidades potencialmente expuestos.

Adicionalmente, el GC-SST-PT-015 se articula con los demás procedimientos y protocolos del Anexo_PGR_PONs, particularmente los relacionados con la activación y movilización de los equipos de respuesta y la evacuación, así como con las Guías Tácticas de Respuesta del Anexo_PGR_Guias_Tacticas.

II. Activación del Plan y Respuesta de Control

i. Notificación de la emergencia

- Cualquier miembro de la comunidad o primer respondiente deberá reportar la emergencia al Centro de Monitoreo, identificándose e indicando el tipo y la ubicación del evento.
- El Centro de Monitoreo confirma la información recibida y registra los datos en el formato oficial de reporte de emergencia.

ii. Evaluación inicial y determinación de movilización del ERT

- El Centro de Monitoreo evalúa la naturaleza del evento y determina si es necesaria la activación y movilización del Equipo de Respuesta en Terreno (ERT).

iii. Movilización del ERT

- Si corresponde, el Centro de Monitoreo moviliza al ERT.
- Cuando la emergencia lo amerite, también informará al personal interno clave para la gestión de recursos, equipos y apoyo operativo.

iv. Información al líder del ERT

- El Centro de Monitoreo debe informar al líder del ERT de la operación afectada.
- El líder del ERT coordina la movilización de su equipo hacia la zona del incidente.

v. Notificación a grupos externos de emergencia

- El Centro de Monitoreo contactará a las entidades externas de apoyo que se requieran según el tipo de emergencia.
- En casos de pérdida de contención de hidrocarburos o sustancias peligrosas, deberá notificarse de manera inmediata al cuerpo de bomberos y a la autoridad ambiental.
- Si se presentan afectados entre trabajadores, se realizará el reporte correspondiente al Ministerio de Trabajo, en cumplimiento del Plan Nacional de Contingencia.

vi. Activación del Sistema de Comando de Incidentes (SCI)

- Una vez los equipos arriben con capacidad operativa, deben ejecutar los pasos iniciales del SCI conforme a los protocolos establecidos.

vii. Reporte de arribo a la escena

- Al llegar al lugar del incidente, el ERT deberá informar al Centro de Monitoreo su presencia en la escena.

viii. Asunción y establecimiento del Puesto de Comando (PC)

- Se debe designar quién asume el mando y comunicar al Centro de Monitoreo su nombre y la ubicación del Puesto de Comando.
- El PC debe ubicarse en un sitio seguro, con buena visibilidad, adecuado acceso, facilidades de comunicación, alejado del ruido y de la zona de peligro, y con espacio para ampliación si es necesario.

ix. Evaluación de la situación

La evaluación inicial debe considerar:

- Naturaleza del incidente y descripción general de lo ocurrido.
- Identificación de amenazas presentes.
- Dimensión del área afectada.
- Posibles medidas de aislamiento.
- Ubicación apropiada para el PC, el Área de Espera (E) y el Área de Concentración de Víctimas (ACV).

x. Establecimiento del perímetro de seguridad

Al definir el perímetro se debe tener en cuenta:

- Tipo de incidente y extensión del área afectada.
- Condiciones topográficas y ambientales.
- Relación del incidente con vías de acceso y zonas disponibles cercanas.
- Riesgos adicionales (deslizamientos, explosiones, caída de escombros, cables energizados, entre otros).
- Identificación de rutas de ingreso y salida de vehículos.

- Coordinación con el organismo de seguridad correspondiente para el aislamiento perimetral.
- Solicitar el retiro de todas las personas no autorizadas dentro de la zona de impacto.

xi. Establecimiento de objetivos y estrategias de respuesta

- Los objetivos deben ser específicos, observables, alcanzables y evaluables.
- Las estrategias constituyen los métodos para lograr dichos objetivos, orientando las acciones del equipo de respuesta.

xii. Organización de grupos de trabajo

Se conformarán los grupos necesarios según la naturaleza del evento, incluyendo:

- Contraincendios
- Primeros auxilios
- Evacuación y rescate
- Hazmat
- Equipos de relevo u otros que se requieran

xiii. Identificación de recursos, equipos e instalaciones de apoyo

- Determinar la ubicación del Área de Espera (E) y del Área de Concentración de Víctimas (ACV).
- Identificar los recursos, equipos y apoyo logístico necesarios.
- Solicitar dichos recursos a través del líder del ERT y del Coordinador de Emergencias.

xiv. Control y mitigación del evento

Las acciones de control pueden incluir:

- Extinción y control de incendios.
- Atención de víctimas o personas lesionadas.
- Rescate de personas atrapadas.
- Contención y control de fugas o derrames de materiales peligrosos.

xv. Evaluación posterior al incidente e inventario de recursos

- Una vez controlada la emergencia, se asignará un equipo preventivo para mantener la vigilancia hasta que el líder del ERT declare completamente superada la situación.
- Finalizadas las acciones operativas, se realizará una reunión de evaluación para analizar el desarrollo de las operaciones, las dificultades presentadas y lecciones aprendidas.
- Se realizará un inventario de equipos y recursos utilizados.

xvi. Elaboración y envío del reporte de emergencia

- Concluida la emergencia, el Operador del Centro de Monitoreo deberá diligenciar y remitir el Reporte de Información de Emergencia según el formato establecido.

III. Plan de Atención Médica de Emergencia (PAME)

El PAME establece los lineamientos para la atención médica inmediata de las víctimas de un siniestro o emergencia, e incluye los siguientes componentes:

i. Atención en sitio

- La instalación deberá garantizar la capacidad mínima para ofrecer:
- Soporte Básico de Vida (BLS) en un tiempo máximo de 3 minutos.
- Soporte Avanzado de Vida (ALS) en un tiempo máximo de 7 minutos.
- Deben existir opciones confiables para la movilización y transporte de víctimas o pacientes.

ii. Atención en centros especializados externos

- Se debe prever la remisión de víctimas a centros especializados y/o profesionales especialistas, estén o no adscritos a los servicios médicos del proyecto, según la gravedad del evento y la condición de los afectados.

g. Medidas de atención a contingencias

Para la adecuada atención de los eventos de riesgo identificados en el Proyecto Gramalote, se desarrollaron Guías Tácticas de Respuesta, las cuales constituyen herramientas operativas complementarias al Plan de Emergencias y Contingencias. Su propósito es estandarizar la actuación del personal frente a escenarios específicos, mediante la descripción clara de las características del evento, un resumen situacional, los riesgos asociados, las medidas de seguridad aplicables y los procedimientos de emergencia que orientan la respuesta inmediata y coordinada.

Las Guías Tácticas actualmente definidas para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote contemplan los siguientes escenarios de riesgo:

- Incendio en líquidos inflamables
- Emergencias por gases inflamables
- Incendio forestal en montes bajos o pastos
- Fuga de líquidos en tierra
- Derrame de líquidos en cuerpos de agua
- Incendios estructurales de baja magnitud
- Atentados o amenazas de atentados
- Sismos

Estas guías se incluyen como anexo técnico del presente Plan de Emergencias y Contingencias, específicamente en el Anexo_PGR_Guías_Tacticas a Emergencias, para su consulta, actualización y aplicación durante la preparación y atención de incidentes.

De manera complementaria a las Guías Tácticas de Respuesta y con el propósito de fortalecer la gestión integral de emergencias, el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote ha establecido un conjunto de Procedimientos Operativos Normalizados (PON). Estos procedimientos describen de forma detallada las acciones que deben ejecutarse ante la materialización de diversos escenarios de riesgo, garantizando su articulación con el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y contribuyendo a la estandarización de la respuesta institucional. Los PON definidos para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote son los siguientes:

- Protocolo para la activación y movilización de equipos de respuesta a emergencias
- Protocolo para inundaciones y deslizamientos
- Protocolo para emergencias atmosféricas irrespirables
- Protocolo para emergencias de rescate técnico
- Protocolo para respuesta a emergencias sociales (asuntos corporativos)
- Protocolo para respuesta a emergencias sociales (relacionamiento comunitario)
- Protocolo para activación por siniestro o accidente vial
- Protocolo para activación para el control de derrames
- Protocolo por activación por falla mecánica
- Protocolo por activación para evacuación

Los anteriores protocolos listados, obedecen a fortalecer de manera integral los mecanismos de reacción y atención de emergencias que se puedan presentar en el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote y cada uno de estos se encuentra descrito ampliamente en el Anexo_PGR_PONs.

h. Evaluación de la contingencia

La evaluación de la contingencia es un proceso estructurado que permite analizar, de manera técnica y objetiva, los efectos reales que dejó un incidente una vez ha sido controlado. Su relevancia radica en que no solo identifica los impactos generados sobre el medio ambiente y las condiciones sociales y operativas, sino que también ofrece información clave para determinar las causas, la magnitud del daño y la eficacia de la respuesta implementada. Este análisis posterior se convierte en un insumo fundamental para la mejora continua, ya que permite ajustar el Plan de Emergencias y Contingencias, optimizar los procedimientos de prevención y fortalecer la capacidad del proyecto para enfrentar futuros eventos con mayor eficiencia y menor afectación.

- Una vez controlada y superada la contingencia, es indispensable realizar una evaluación ambiental integral, con el fin de identificar y cuantificar los efectos reales generados sobre los componentes abiótico, biótico y socioeconómico del entorno.
- Esta evaluación permite consolidar información estadística y analítica que contribuya a mejorar el entendimiento de las contingencias, su comportamiento y sus impactos, facilitando el diseño y la implementación de mecanismos de prevención y de mejora continua. Para tal fin, se recomienda:
- Elaborar un reporte completo de la contingencia, que permita documentar adecuadamente el evento y sirva como registro histórico para auditorías internas y revisiones de las entidades externas competentes. Este reporte debe incluir los formularios establecidos para la descripción del evento, la evaluación de los daños y la verificación de la efectividad del Plan de Contingencia.
- Generar un informe evaluativo detallado, que compile todas las observaciones relacionadas con los aspectos operativos, los problemas encontrados, la pertinencia de las acciones implementadas y la efectividad de los tiempos de respuesta.
- Registrar información clave del evento, incluyendo fecha y hora, persona que realizó el reporte inicial, condiciones climáticas, distancia al centro poblado más cercano, causa probable y cualquier otro dato relevante que permita reconstruir el evento y analizar su evolución.

i. Preparación para la recuperación post-evento de contingencia

I. Objetivo

Establecer los lineamientos y el procedimiento para la preparación de la recuperación posterior a la ocurrencia de una contingencia, definiendo los mecanismos para la evaluación integral de los daños ocasionados sobre las personas, la infraestructura, el ambiente y los sistemas productivos, así como los criterios para la planificación de las acciones orientadas al restablecimiento de las condiciones ambientales, sociales y operacionales del Proyecto Gramalote.

Este componente establece la metodología para la evaluación postevento, la articulación con los estudios de verificación del estado y calidad de los suelos y las aguas cuando la naturaleza de la contingencia lo requiera, y los criterios para la formulación de estrategias de recuperación y rehabilitación ambiental, así como para el restablecimiento de los medios de vida e infraestructura socioeconómica primaria que pudieran resultar afectados, promoviendo una recuperación planificada, segura y sostenible, en concordancia con el Decreto 2157 de 2017, la Ley 1523 de 2012 y los demás instrumentos de gestión ambiental y del riesgo aplicables al proyecto.

II. Criterios para activar la recuperación

La preparación para la recuperación postevento se iniciará una vez la contingencia haya sido controlada y la Dirección de Emergencias declare finalizada la fase de respuesta inmediata, siempre que se hayan eliminado o reducido a un nivel aceptable los riesgos que puedan comprometer la seguridad del personal de atención, las comunidades o el ambiente.

La activación de este componente tiene como propósito organizar y planificar las acciones requeridas para evaluar las afectaciones ocasionadas por la contingencia y definir las medidas necesarias para la recuperación ambiental, social y operacional del proyecto, de manera articulada con los programas de seguimiento ambiental, el Plan de Manejo Ambiental (PMA), los instrumentos de gestión del riesgo y las autoridades competentes.

La activación del proceso de preparación para la recuperación procederá cuando la contingencia genere o pueda generar una o más de las siguientes condiciones:

- Afectación real o potencial sobre la calidad de las aguas superficiales o subterráneas, derivada de derrames de combustibles, reactivos, aguas de proceso, relaves u otras sustancias con capacidad contaminante.
- Alteración de la calidad o funcionalidad de los suelos como consecuencia de derrames, incendios, movimientos en masa, fallas geotécnicas o disposición no controlada de materiales.
- Daños sobre ecosistemas, coberturas vegetales, fauna silvestre, cuerpos de agua o demás componentes ambientales que requieran procesos de evaluación, rehabilitación o restauración.
- Afectación de infraestructura estratégica del proyecto cuya recuperación condicione la continuidad segura de la operación, incluyendo vías internas, sistemas de manejo de aguas, instalaciones industriales, redes de servicios, presas, depósitos, tuberías de relaves u otras obras críticas.

- Afectación de infraestructura pública o comunitaria localizada dentro del área de influencia del proyecto, tales como vías, puentes, sistemas de abastecimiento de agua, redes de servicios públicos u otros elementos de infraestructura socioeconómica primaria.
- Afectación sobre viviendas, predios, actividades económicas o medios de vida de la población localizada en el área de influencia del proyecto, atribuible a la ocurrencia de la contingencia.
- Contingencias que, por su magnitud, extensión o duración, requieran la ejecución de estudios específicos para verificar el estado y la calidad de los componentes ambientales antes de definir las medidas de recuperación.
- Eventos que generen requerimientos de seguimiento, evaluación o implementación de acciones de recuperación por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), las autoridades ambientales competentes o los organismos del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD).
- Cualquier otra contingencia que, a juicio del Director de Emergencias y del equipo técnico del proyecto, pueda generar impactos residuales cuya evaluación sea necesaria para garantizar una recuperación ambiental, social y operacional adecuada.

La activación de este componente no implica el inicio inmediato de las acciones de restauración o rehabilitación. Su finalidad es desarrollar la evaluación integral de daños, verificar las condiciones ambientales y socioeconómicas posteriores a la contingencia, identificar las necesidades de recuperación y formular el correspondiente Plan de Recuperación Postevento, el cual establecerá las acciones, responsables, cronograma y mecanismos de seguimiento requeridos para el restablecimiento progresivo de las condiciones afectadas.

III. Organización para la recuperación

La organización para la recuperación postevento se fundamenta en la estructura de atención de emergencias establecida en el presente Plan de Gestión del Riesgo, garantizando la continuidad en la toma de decisiones y la coordinación entre las áreas técnicas, ambientales, sociales y operacionales del Proyecto Gramalote.

Una vez controlada la contingencia y eliminadas las condiciones inmediatas de peligro para las personas, el ambiente y la infraestructura, el Director de Emergencias, previo concepto del Sistema de Comando de Incidentes (SCI), declarará el cierre de la fase de respuesta y autorizará el inicio de la fase de preparación para la recuperación postevento.

A partir de este momento se conformará el Equipo Técnico de Evaluación y Recuperación (ETER), responsable de coordinar las actividades de evaluación de daños, identificación de necesidades de recuperación y formulación del Plan de Recuperación Postevento específico para la contingencia ocurrida.

El ETER desarrollará sus actividades de manera articulada con las autoridades competentes, los responsables de los programas de seguimiento ambiental, el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y los demás instrumentos de gestión del riesgo y gestión ambiental aplicables al proyecto. El equipo estará conformado, como mínimo, por los siguientes responsables (ver Tabla 10.133):

Tabla 10.133 Integración del Equipo Técnico de Evaluación y Recuperación (ETER)

Cargo o dependencia	Responsabilidades durante la recuperación
Director de Emergencias	Autorizar el inicio de la fase de recuperación, asignar recursos, definir prioridades estratégicas y mantener la coordinación con la alta dirección del proyecto y las autoridades competentes.
Coordinador HSE	Coordinar las actividades del ETER, verificar que las evaluaciones se desarrollen bajo condiciones seguras, consolidar la información técnica y realizar seguimiento al cumplimiento del Plan de Recuperación Postevento.
Coordinador Ambiental	Liderar la evaluación de las afectaciones sobre los componentes físico, biótico e hídrico; definir la necesidad de ejecutar muestreos de suelo, agua, sedimentos u otros componentes ambientales; coordinar la formulación de las medidas de rehabilitación y restauración ambiental.
Coordinador Social	Evaluar las afectaciones sobre comunidades, infraestructura social, actividades económicas y medios de vida; coordinar el relacionamiento con las comunidades y autoridades locales durante la recuperación.
Coordinador de Operaciones	Evaluar los daños sobre la infraestructura minera, equipos, instalaciones industriales y vías internas; definir las acciones requeridas para el restablecimiento seguro de la operación.
Coordinador de Mantenimiento	Inspeccionar los daños sobre equipos e infraestructura electromecánica; programar las actividades de reparación o reposición requeridas.
Especialista Geotécnico	Evaluar la estabilidad residual de taludes, depósitos, excavaciones, presa de colas y demás estructuras geotécnicas cuando la naturaleza del evento lo requiera.
Especialista Hidrología e Hidrogeología	Evaluar posibles afectaciones sobre cuerpos de agua superficiales y subterráneos, definir la necesidad de monitoreos extraordinarios y apoyar la interpretación de resultados.
Especialistas temáticos	Participar cuando las características de la contingencia requieran conocimientos específicos (ecología, calidad del aire, patrimonio cultural, explosivos, relaves, estructuras, entre otros).

Fuente: Integral S.A., 2026.

Cuando la magnitud o complejidad de la contingencia lo requiera, el Director de Emergencias gestionará la participación y articulación con las entidades externas competentes, entre ellas:

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

- Autoridades ambientales con jurisdicción en el área del proyecto.
- Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD).
- Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD), cuando aplique.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), cuando la naturaleza del evento así lo amerite.
- Organismos de socorro y demás entidades del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Autoridades de salud, de infraestructura o de servicios públicos, según el tipo de afectación presentada.

IV. Metodología de evaluación post evento

La evaluación postevento constituye el conjunto de actividades técnicas desarrolladas una vez finalizada la fase de respuesta a la contingencia, cuyo propósito es identificar, caracterizar y valorar las afectaciones ocasionadas sobre los componentes humanos, ambientales, físicos, sociales y operacionales del Proyecto Gramalote, con el fin de determinar las necesidades de recuperación y proporcionar los elementos técnicos para la formulación e implementación de las acciones orientadas al restablecimiento de las condiciones previas al evento, en la medida de lo posible.

La evaluación postevento iniciará únicamente cuando el Director de Emergencias, en coordinación con el Sistema de Comando de Incidentes (SCI), declare finalizada la fase de respuesta y confirme que las condiciones de seguridad permiten el ingreso del Equipo Técnico de Evaluación y Recuperación (ETER) al área afectada.

Con el propósito de garantizar una evaluación sistemática, objetiva y técnicamente sustentada, el Proyecto Gramalote adopta y adapta los principios metodológicos de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) desarrollada por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades Ambientales Continental (EDANA-C) desarrollada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La metodología EDAN aporta el enfoque para la identificación rápida de los daños ocasionados sobre la población, la infraestructura, los bienes, los servicios y la continuidad de la operación, permitiendo establecer prioridades para el restablecimiento de las condiciones de seguridad y funcionalidad. Por su parte, la metodología EDANA-C incorpora criterios para la evaluación de los daños ambientales y el análisis de las necesidades de recuperación de los componentes físicos y bióticos, facilitando la planificación de las acciones de rehabilitación y restauración ambiental.

Considerando que el Proyecto Gramalote corresponde a un proyecto minero sometido a licenciamiento ambiental, ambas metodologías se integran con la información de la línea base del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), los programas de seguimiento y monitoreo ambiental, el Plan de Manejo Ambiental (PMA), los estudios técnicos del proyecto y la información generada durante la atención de la contingencia. Esta integración permite que la evaluación postevento responda a las particularidades operacionales, ambientales y sociales del proyecto y proporcione una base técnica para la toma de decisiones durante la recuperación.

La metodología propuesta comprende seis etapas secuenciales (Tabla 10.134), mediante las cuales se transforma la información obtenida durante la atención de la emergencia en un proceso estructurado de evaluación de daños, análisis de necesidades y planificación de la recuperación.

Tabla 10.134 Etapas de la metodología de evaluación postevento

Etapa	Objetivo	Metodología de referencia	Producto
1. Reconocimiento del evento	Consolidar la información generada durante la atención de la contingencia y verificar que existan condiciones seguras para iniciar la evaluación postevento.	EDAN	Informe inicial del evento.
2. Identificación y caracterización de daños	Identificar los elementos afectados y caracterizar los daños sobre los componentes humanos, ambientales, físicos, sociales y operacionales.	EDAN + EDANA-C	Inventario de daños.
3. Evaluación de la magnitud del daño	Determinar la extensión, intensidad, severidad y consecuencias de los daños identificados, así como la necesidad de realizar estudios especializados.	EDAN + EDANA-C	Caracterización integral del daño.
4. Determinación de necesidades de recuperación	Identificar las acciones técnicas, ambientales, sociales y operacionales requeridas para recuperar las condiciones afectadas.	EDANA-C	Matriz de necesidades de recuperación.
5. Priorización de acciones	Establecer el orden de implementación de las medidas de recuperación con base en criterios de riesgo, criticidad y viabilidad técnica.	Adaptación del Proyecto Gramalote	Plan de prioridades.
6. Formulación del Plan de Recuperación Postevento	Consolidar las acciones de recuperación,	Adaptación del Proyecto Gramalote	Plan de Recuperación Postevento.

Etapa	Objetivo	Metodología de referencia	Producto
	responsables, recursos, cronograma e indicadores para el restablecimiento progresivo de las condiciones afectadas.		

Fuente: Integral S.A., 2026.

Las seis etapas se desarrollan de manera consecutiva; sin embargo, dependiendo de la magnitud y complejidad de la contingencia, algunas actividades podrán ejecutarse de forma simultánea cuando ello permita optimizar la obtención de información y reducir los tiempos de respuesta.

La metodología se fundamenta en un proceso de toma de decisiones basado en evidencia técnica, de manera que cada etapa incorpora información proveniente de inspecciones de campo, registros operacionales, monitoreos ambientales, análisis de laboratorio, estudios especializados y demás fuentes de información disponibles. Este enfoque permite asegurar que las acciones de recuperación se definan con base en criterios objetivos y verificables, evitando decisiones sustentadas únicamente en apreciaciones cualitativas.

Tabla 10.135 Relación entre la evaluación del daño y la planificación de la recuperación

Pregunta orientadora	Información requerida	Resultado esperado
¿Qué ocurrió?	Reportes de la contingencia, bitácoras del SCI, registros fotográficos, coordenadas del evento y acciones ejecutadas durante la respuesta.	Reconocimiento del evento y delimitación preliminar del área afectada.
¿Qué fue afectado?	Inspecciones de campo, inventario de infraestructura, información ambiental y social, registros operacionales y aplicación de la metodología EDAN.	Identificación y caracterización de los daños.
¿Cuál es la magnitud de la afectación?	Muestreos ambientales, monitoreos, estudios geotécnicos, análisis de laboratorio y comparación con la línea base del EIA y el PMA.	Caracterización integral del daño y evaluación de sus consecuencias.
¿Qué se requiere para recuperar las condiciones afectadas?	Resultados de la evaluación técnica, criterios de riesgo residual, requerimientos normativos y análisis de necesidades conforme a los principios de la EDANA-C.	Matriz de necesidades de recuperación.
¿Qué acciones deben ejecutarse primero?	Análisis de criticidad ambiental, social, operacional y de seguridad.	Priorización de acciones de recuperación.

Pregunta orientadora	Información requerida	Resultado esperado
¿Cómo se ejecutará la recuperación?	Consolidación de la información generada durante todas las etapas anteriores.	Formulación del Plan de Recuperación Postevento.

Fuente: Integral S.A., 2026.

V. Estrategia de restablecimiento

La estrategia de restablecimiento corresponde al conjunto de lineamientos técnicos y operativos orientados a recuperar, de manera progresiva y priorizada, las condiciones ambientales, sociales y operacionales afectadas como consecuencia de una contingencia.

Las acciones de restablecimiento serán definidas con base en los resultados de la evaluación postevento y del análisis de necesidades de recuperación, procurando que las intervenciones respondan a la magnitud del daño ocasionado, al riesgo residual existente y a la importancia ambiental, social y funcional de los elementos afectados.

La recuperación será implementada bajo los principios de seguridad, prevención, mejora continua, coordinación institucional, sostenibilidad ambiental y proporcionalidad, priorizando siempre la protección de la vida, la conservación de los recursos naturales y el restablecimiento de las funciones esenciales del proyecto y de su entorno.

Con el fin de orientar la planificación de las acciones de recuperación, el Proyecto Gramalote establece las siguientes líneas estratégicas.

i. Restablecimiento ambiental

Las acciones de recuperación ambiental estarán orientadas a restablecer, en la mayor medida posible, las condiciones físicas, químicas y biológicas de los componentes ambientales afectados por la contingencia.

La definición de las medidas específicas se fundamentará en los resultados de la evaluación postevento, en la comparación con la línea base ambiental del Estudio de Impacto Ambiental, en los programas de seguimiento y monitoreo del Plan de Manejo Ambiental y en los estudios especializados que se desarrollen para verificar el estado de los recursos naturales afectados. Dependiendo de la naturaleza del evento, las acciones podrán incluir, entre otras:

- remoción y disposición adecuada de materiales contaminantes;
- descontaminación de suelos afectados;
- recuperación de cuerpos de agua superficiales o subterráneos;
- estabilización de taludes y control de procesos erosivos;
- restauración de coberturas vegetales;
- rehabilitación de hábitats afectados;
- manejo de residuos generados durante la contingencia;
- monitoreo ambiental para verificar la efectividad de las acciones implementadas.

Las acciones de recuperación ambiental se ejecutarán de forma articulada con los programas de manejo y seguimiento establecidos en la licencia ambiental vigente.

ii. Restablecimiento de los medios de vida y del componente social

Cuando la contingencia genere afectaciones sobre comunidades, actividades económicas o infraestructura de uso comunitario, el Proyecto Gramalote implementará acciones orientadas al restablecimiento progresivo de las condiciones sociales y productivas, en coordinación con las autoridades competentes y con las comunidades involucradas.

Estas acciones serán definidas a partir de la evaluación de las afectaciones identificadas durante la etapa postevento y podrán comprender:

- restablecimiento del acceso a predios y vías de comunicación;
- rehabilitación o reposición de infraestructura comunitaria afectada;
- restablecimiento de sistemas de abastecimiento de agua u otros servicios básicos cuando la contingencia haya comprometido su funcionamiento;
- apoyo a la recuperación de actividades productivas temporalmente interrumpidas como consecuencia directa de la contingencia;
- fortalecimiento de los mecanismos de información y comunicación con las comunidades;
- articulación con las entidades del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres cuando la magnitud del evento así lo requiera.

Las medidas implementadas serán proporcionales al nivel de afectación identificado y se desarrollarán respetando los mecanismos de participación y relacionamiento establecidos por el proyecto.

iii. Restablecimiento de la infraestructura socioeconómica y operacional

La recuperación de la infraestructura tendrá como propósito restablecer las condiciones de seguridad y funcionalidad de las instalaciones del proyecto y de la infraestructura externa que hubiese resultado afectada por la contingencia.

Las intervenciones se priorizarán considerando la criticidad de cada elemento para la protección de las personas, el control de los riesgos residuales, la protección ambiental y la continuidad operacional. Dependiendo del escenario presentado, podrán ejecutarse acciones como:

- evaluación estructural y geotécnica de las instalaciones;
- reparación o reposición de equipos e infraestructura;
- recuperación de vías internas y accesos;
- rehabilitación de sistemas de drenaje y manejo de aguas;
- recuperación de redes eléctricas y de comunicaciones;
- restablecimiento de sistemas de instrumentación y monitoreo;
- verificación de las condiciones de operación de la presa de colas, tuberías de relaves y demás infraestructura crítica, cuando corresponda.

Antes del reinicio de las operaciones se verificará que las condiciones de seguridad operacional sean equivalentes o superiores a las existentes antes de la ocurrencia de la contingencia.

iv. Seguimiento a la recuperación

La implementación de las acciones de recuperación estará acompañada por un programa de seguimiento orientado a verificar su efectividad y a determinar el cumplimiento de los

objetivos definidos para el restablecimiento. El seguimiento comprenderá, según corresponda:

- inspecciones técnicas de campo;
- monitoreos ambientales extraordinarios;
- seguimiento al desempeño de la infraestructura recuperada;
- verificación del restablecimiento de las condiciones sociales identificadas durante la evaluación postevento;
- evaluación del cumplimiento de los cronogramas y compromisos establecidos en el Plan de Recuperación Postevento;
- identificación de desviaciones y definición de acciones de mejora cuando los resultados obtenidos no alcancen los objetivos previstos.

Los resultados del seguimiento constituirán el soporte técnico para determinar el cierre de la fase de recuperación y la finalización de las acciones implementadas.

En la Tabla 10.136 se ilustra un resumen de la estrategia de restablecimiento según el componente afectado.

Tabla 10.136 Estrategias de restablecimiento según el componente afectado

Componente afectado	Objetivo del restablecimiento	Estrategias generales
Ambiental	Recuperar la funcionalidad de los recursos naturales afectados.	Descontaminación, estabilización, restauración ecológica, rehabilitación de hábitats, recuperación de cuerpos de agua y monitoreo ambiental.
Social y medios de vida	Restablecer las condiciones de bienestar y las actividades económicas afectadas.	Recuperación de accesos, apoyo al restablecimiento de actividades productivas, rehabilitación de servicios básicos, comunicación con comunidades y coordinación institucional.
Infraestructura socioeconómica	Recuperar la funcionalidad de la infraestructura comunitaria y de servicios.	Reparación o reposición de vías, puentes, sistemas de abastecimiento de agua y demás infraestructura prioritaria.
Infraestructura y operación minera	Restablecer las condiciones seguras para la continuidad del proyecto.	Reparación de instalaciones, evaluación geotécnica y estructural, rehabilitación de sistemas de manejo de aguas, instrumentación, redes eléctricas e infraestructura crítica.

Fuente: Integral S.A., 2026.

j. Instrucciones para operadores y visitantes

I. Lineamientos generales para todo el personal

Antes

- Conocer y comprender el Plan de Manejo de Emergencias y Contingencias (PEC), incluyendo las rutas de evacuación correspondientes a su zona de trabajo y los protocolos establecidos para distintos tipos de emergencia.
- Identificar la estructura, roles y responsables de la Brigada de Emergencias en el área donde desarrolla sus actividades.
- Participar de manera comprometida en los entrenamientos, simulacros y demás acciones del Plan de Atención de Emergencias.
- Cumplir rigurosamente con las disposiciones del Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) implementado en el proyecto.
- Mantener su espacio de trabajo limpio, ordenado y libre de obstáculos que puedan dificultar una evacuación o generar incidentes.
- Informar oportunamente cualquier situación, condición insegura o daño potencial que pueda dar origen a una emergencia o afectar la integridad de instalaciones, equipos o maquinaria.
- Revisar y actualizar periódicamente los procedimientos de atención de emergencias asociados a su área de trabajo, asegurando su comprensión y correcta aplicación.

Durante

- Acatar de manera inmediata y sin excepción las instrucciones emitidas por la Brigada de Emergencias; evitar ejecutar maniobras no autorizadas o para las cuales no se encuentra capacitado, y solicitar apoyo cuando sea necesario.
- No interferir con las labores de control, rescate o actividades de evacuaciones realizadas por la Brigada.
- Dirigirse sin demora al punto de encuentro asignado para su sector, siguiendo las rutas de evacuación señalizadas.
- En caso de evacuar acompañado de un grupo distinto al habitual, informar al Coordinador de Evacuación correspondiente para su adecuado registro.
- Brindar acompañamiento a contratistas o visitantes que desconozcan la distribución del sitio o los procedimientos de emergencia.
- Reportar cualquier novedad, incluida la ausencia de personas, durante el proceso de verificación y conteo en el punto de encuentro.
- Abstenerse de emitir declaraciones a medios de comunicación o de difundir información no confirmada que pueda generar confusión o alarma.

II. Instrucciones específicas para visitantes

- Identificar las rutas de evacuación y los puntos de encuentro establecidos antes de iniciar cualquier actividad dentro del área del proyecto.
- Evitar ingresar a zonas restringidas o para las cuales no cuente con autorización expresa.
- Atender estrictamente las indicaciones del personal de apoyo en emergencias; no ejecutar acciones para las que no haya sido instruido y solicitar asistencia calificada cuando lo requiera.

k. Divulgación del PEC

El Plan de Manejo de Emergencias y Contingencias debe ser comunicado de manera amplia, clara y continua a todo el personal interno, contratistas, comunidades vecinas, autoridades locales y otros actores involucrados en la gestión del riesgo en la zona. Es fundamental garantizar que la información proporcionada sea oportuna, veraz y completa, de modo que todas las partes comprendan sus responsabilidades y las acciones previstas en el plan. Entre las principales estrategias de divulgación se incluyen:

- Fomentar la participación activa: Se realizarán talleres, reuniones y otros espacios de interacción para presentar el plan a las partes interesadas y potencialmente afectadas, asegurando su comprensión y efectividad en la gestión de emergencias.
- Capacitación de personal especializado: Se identificará y entrenará a personal calificado, tanto interno como externo, en gestión del riesgo, asegurando que conozcan las medidas, objetivos y procedimientos del plan y promoviendo la coordinación y cooperación para la atención oportuna de emergencias.
- Comunicación constante y clara de riesgos: Se difundirá de manera sencilla, repetitiva y comprensible la información sobre situaciones de riesgo y sus medidas de prevención y mitigación al personal del proyecto, empleando material audiovisual y colocándolo en áreas estratégicas de la planta e instalaciones.
- Evaluación de comprensión y aceptación: Se aplicarán formatos y encuestas de evaluación para medir la efectividad del programa y la comprensión del plan por parte de todos los involucrados.
- Gestión de expectativas comunitarias: Se informará de manera transparente sobre los alcances del proyecto y los acuerdos establecidos con las autoridades, evitando la generación de expectativas que no correspondan a la realidad del plan o del proyecto.
- Garantía de personal calificado: Todas las actividades de divulgación y capacitación estarán a cargo de profesionales con experiencia en trabajo comunitario y gestión de emergencias, asegurando una comunicación efectiva y responsable.

Esta estrategia de divulgación busca fortalecer la preparación, coordinación y respuesta frente a emergencias, promoviendo un entorno seguro tanto para el personal del proyecto como para las comunidades vecinas y otros actores relacionados.

l. Actualización del PEC

El Plan de Manejo de Emergencias y Contingencias (PEC) será sujeto a revisiones y actualizaciones periódicas con el fin de identificar oportunidades de mejora, fortalecer los acuerdos de cooperación, planificar acciones de respuesta más efectivas, implementar procedimientos de actuación más oportunos, aplicar técnicas de control innovadoras y garantizar funciones operativas más eficientes y seguras frente a las amenazas identificadas.

En caso de presentarse una emergencia, se deberá realizar una evaluación integral de la respuesta y de la efectividad del plan. Esta evaluación permitirá identificar aspectos clave que sirvan para la reformulación y el rediseño del PEC, asegurando que se mantenga actualizado y alineado con las necesidades reales del proyecto y de las comunidades vecinas. Para llevar a cabo esta evaluación se deben analizar los siguientes elementos:

- Niveles de respuesta desplegados por el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.
- Análisis de riesgos operacionales y naturales presentes en el área de influencia del proyecto.
- Definición de funciones y responsabilidades dentro de la organización del Plan de Contingencia.
- Coordinación y articulación con el CMGRD (Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de San Roque).
- Canales de comunicación utilizados para informar al personal interno y a la comunidad sobre la emergencia.
- Disponibilidad y estado de los equipos destinados al control de emergencias.
- Programa de entrenamiento y simulacros realizados, así como su efectividad.
- Estructuración del Plan Informático, incluyendo información crítica de áreas estratégicas y listados de autoridades, entre otros.

Las lecciones aprendidas y experiencias obtenidas durante la ejecución del PEC deberán compartirse con todas las personas involucradas en el manejo y control de emergencias en las diferentes áreas del proyecto. Además, se realizará, como mínimo, una revisión y actualización anual del plan, evaluando su funcionalidad, pertinencia y efectividad en la respuesta ante emergencias, asegurando que continúe cumpliendo con los estándares de seguridad y gestión de riesgos establecidos.

C. Plan Informático

El Plan Informático define los lineamientos y protocolos para la gestión de la información y la logística necesaria durante la atención de una emergencia. Este plan incluye los datos de contacto del personal clave para la respuesta tanto interno como externo, entre ellos los integrantes del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de San Roque y el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Antioquia. Asimismo, incorpora los acuerdos de ayuda mutua, el inventario de recursos y equipos disponibles, y demás elementos informativos esenciales para asegurar que los planes estratégico y operativo se ejecuten de manera oportuna, coordinada y eficiente.

El Plan Informático, por tanto, actúa como un soporte fundamental para la organización y flujo de la información crítica, garantizando que todas las partes involucradas cuenten con datos actualizados, confiables y accesibles para una respuesta efectiva ante cualquier escenario de emergencia.

a. Plan de información y comunicación interna

La puesta en marcha del sistema de comunicaciones a lo largo de todas las fases del proyecto es fundamental para asegurar una respuesta eficaz ante cualquier evento contingente y para facilitar la recuperación de los componentes afectados.

- Se implementarán tanto medios de comunicación fijos como móviles. Los dispositivos móviles deberán ubicarse en los frentes de obra y estarán bajo la responsabilidad del ingeniero a cargo y de los contratistas que operan en cada zona.
- Los equipos fijos se instalarán en los espacios con presencia operativa permanente, como las áreas de infraestructura, talleres, oficinas administrativas, centros de atención a la comunidad y el centro de salud.

- El sistema de comunicaciones del plan de contingencias contará con una central de control situada en la oficina principal del proyecto, desde donde se coordinarán todas las acciones de respuesta ante un evento inesperado.
- Esta central mantendrá comunicación directa con los distintos frentes de obra, los municipios involucrados, el centro de salud del proyecto y las demás dependencias relacionadas.
- El proyecto dispondrá de líneas telefónicas y radios portátiles en cada frente de obra, así como en las áreas de infraestructura y en todas las oficinas. Se recomienda priorizar el uso de radios y telefonía celular como dispositivos móviles principales.

Asimismo, los miembros del equipo de respuesta a emergencias deberán contar con un directorio actualizado que incluya los números de contacto del personal participante y de las entidades de apoyo. Además, el sistema deberá integrar unidades móviles equipadas con dispositivos de radiofrecuencia enlazados con la Base de Comunicaciones ubicada en la oficina principal, la cual, a su vez, deberá mantener comunicación bidireccional con el Centro de Atención de la Emergencia.

I. Plan para el manejo de las comunicaciones de emergencias

El objetivo es asegurar que el personal responsable de atender una emergencia en el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote disponga de los lineamientos esenciales para el manejo de las comunicaciones durante un evento, de manera que se garantice una interacción clara y oportuna antes, durante y después de la situación de emergencia.

II. Flujo de las Comunicaciones en el Modelo del Comando de Incidentes para el Proyecto Gramalote

En el proyecto, las comunicaciones bajo el modelo de Comando de Incidentes (IC) operan de forma vertical, siguiendo la estructura jerárquica y el flujo establecido de autoridad. Paralelamente, se mantiene un flujo de comunicación horizontal entre los grupos que se encuentran en un mismo nivel organizacional.

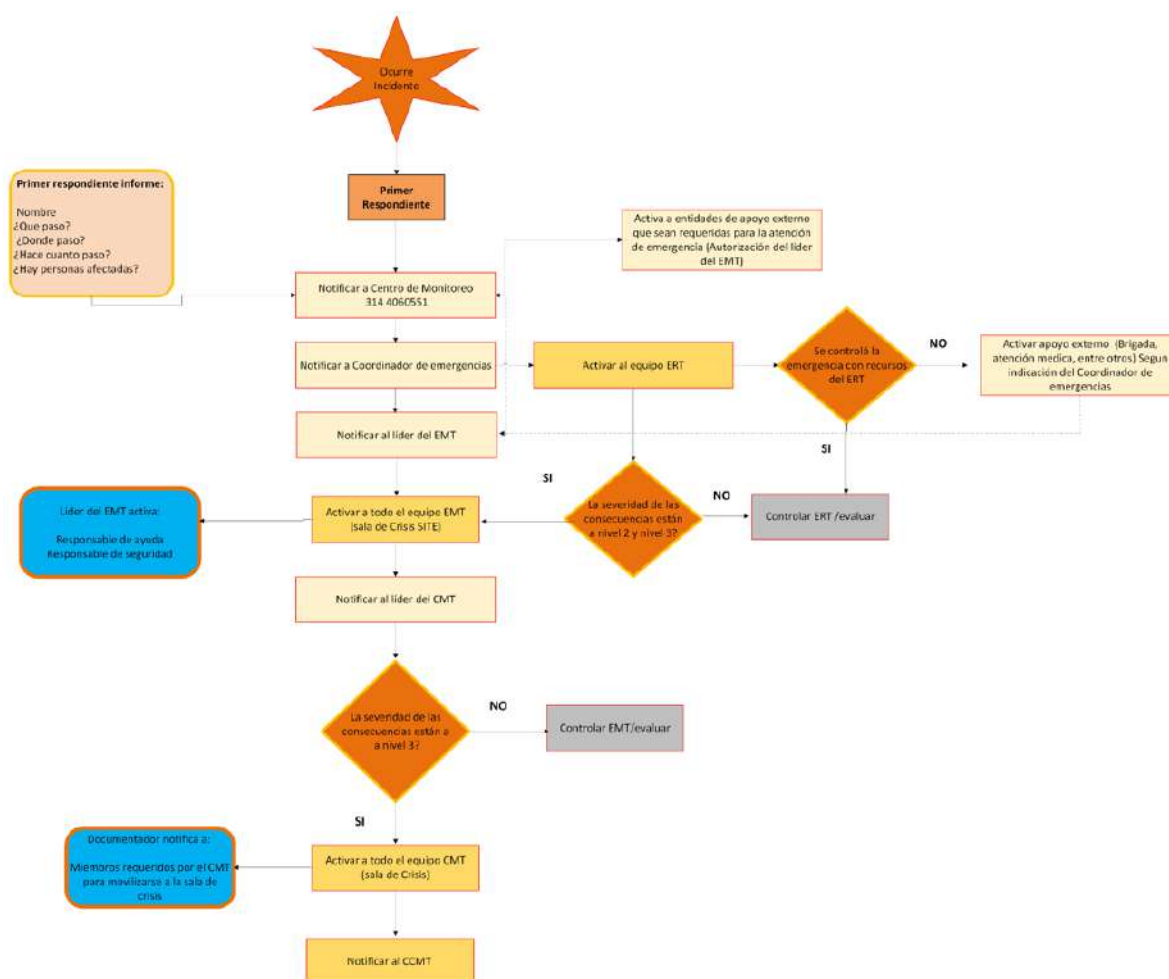
El Equipo de Respuesta a Emergencias (ERT) debe emplear un lenguaje unificado, claro y preciso, evitando el uso de códigos o abreviaturas, con el fin de garantizar que la información transmitida sea coherente y comprensible para todos los involucrados. En este marco, se distinguen dos modalidades de comunicación: formal e informal. La comunicación informal se utiliza exclusivamente para el intercambio de información relacionada con el incidente. Por su parte, la comunicación formal constituye el estándar dentro de los Equipos de Emergencia y se emplea para los siguientes fines:

- Recibir y asignar tareas operativas.
- Solicitar apoyo o recursos adicionales.
- Reportar el avance de las actividades en ejecución.

III. Notificación interna y externa

El Centro de Monitoreo ejecuta el Protocolo de Notificación de Emergencias, mediante el cual activa y moviliza al Equipo de Respuesta a Emergencias (ERT) del proyecto incluyendo la brigada de emergencia, el personal médico y los grupos de apoyo interno especializado.

Según la magnitud de la emergencia, puede ser necesario solicitar la intervención de organizaciones locales, regionales o nacionales. La notificación a estas instancias será realizada por el puesto local de emergencia, siguiendo el orden establecido en la Figura 10.94.



Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2026. GC-SST-MA-003

Tabla 10.137 Procedimientos de Comunicación

Medio	Procedimiento	Momento de realización
Oral	Activación de la emergencia (llamado al personal clave, activación de alarma sonora, radio u otra señal sonora disponible en el lugar de trabajo).	Una vez inicia la emergencia.
	Comunicaciones en la atención a la emergencia	Durante la atención de la emergencia

Escrito	Notificación	Una vez ocurrida la emergencia
	Formatos para el reporte de emergencias	Durante y después de la emergencia

Fuente: Integral S.A., 2025

Los canales a través de los cuales se notifican las emergencias en el proyecto se presentan en la Figura 10.95. Es importante destacar que, al momento de realizar la notificación por los canales internos, la información debe comunicarse de manera clara y precisa, atendiendo los siguientes cinco lineamientos:

- Nombre
- ¿Qué pasó?
- ¿Dónde pasó?
- ¿Hace cuánto pasó?
- ¿Hay personas afectadas?



Figura 10.95 Canales de notificación de emergencias

Fuente: Plan de Emergencias SITE 2025. GC-SST-PE-001

b. Plan de información de contacto de actores externos

La gestión del riesgo de desastres articula diferentes actores en torno a la gestión a nivel local, municipal, regional y nacional, dentro de las que intervienen cuerpos de bomberos, policía militar, cruz roja, hospitales, defensa civil, entre otras. En la tabla QQ se listan los contactos de actores externos vinculados a los procesos de gestión del riesgo, con los cuales el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Tabla 10.138 Contacto de actores externos de la gestión del riesgo.

Institución	Encargado	Datos de contacto
CMGRD San Roque	Marco Rincón	3136273135
DAGRAN	--	604 3838850 - 123

Institución	Encargado	Datos de contacto
Cuerpo de bomberos San Roque	Comandante Milena Castillo	3117359500 3244313425
Cuerpo de bomberos Cisneros	Comandante Mónica Agudelo	3136423016 3107028310
Cuerpo de bomberos Puerto Berrío	Comandante William Isaza	3106504958 3108905338
Hospital San Roque	--	6048656735 EXT 1007- 3117198595
Hospital Maceo	--	6048640231 EXT 114 310 414 0045 Urgencias
Hospital Cisneros	--	6048631525
Centro de Salud Providencia	--	6048657915
Centro de Salud Cristales	--	0948631847
Estación de Policía San Roque	--	3117468076
Cornare	Sede Principal	(604) 5461616 -5201170 ext. 214
Cornare	Regional Porce-Nus	(604) 5461616 -5201170 ext. 706
Cruz Roja	Sede Medellín	(604) 350 53 00 - 3007098112 WhatsApp
Defensa Civil	Gloria Ramírez	2852018
Vinus sst	Esteban Cifuentes	8603102-3206969704
Emergencias Vinus	--	018000413724

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Equipamiento para la atención de emergencias

Para garantizar una respuesta eficaz ante situaciones de emergencia, el proyecto 'Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote' contará con los equipamientos detallados en la Tabla 10.139. Estos recursos han sido seleccionados para atender de manera oportuna y segura cualquier eventualidad que pueda presentarse durante las fases de construcción, operación y cierre del proyecto, en concordancia con los protocolos establecidos y la normativa vigente.

Tabla 10.139 Equipamientos para la atención de emergencias

Equipamiento	Cantidad		
	Construcción	Operación	Cierre
Ambulancia	2	1	1
Camillas tipo najo	20	20	10
Botiquín de atención pre-hospitalaria	5	20	5
Equipo autónomo de respiración	-	20	5
Sistema de Alarmas de evacuación	1	1	1
Mangueras certificadas y accesorios	10	10	10
Motobombas y sistema de conexión	2	2	1
Trajes contra incendio (completos: botas, casco, monjas y guantes)	15	15	5
Radios portátiles para comunicación (Motorola)	10	10	5
Megáfonos	10	10	10
Vehículos de transporte soporte a emergencias	2	2	1

Equipamiento	Cantidad		
	Construcción	Operación	Cierre
Kit Elementos de demarcación y señalización (cinta, conos, paletas, luces)	100	50	20
Kit de derrames	750	110	35
Instalación del Sistema de Protección Contra Incendio (Tomado de: Anexo 11_3_Sistema_Contra_Incendios del EIA)	1	-	-
Extintores PYRo CHEM (20 libras)	140	120	120
Extintores – Dióxido de carbono (20 libras)	140	120	120

Fuente: Gramalote Colombia Limited, 2025

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.
- AngloGold Ashanti, A. (2015). *Guías para la gestión de riesgos del grupo AGA*. Versión 2.0. Colombia.
- Arcila, M. G. (2020). *Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia*. Bogotá.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). *NSR-10 - Título A - Requisitos generales de diseño y construcción sísmo resistente*. Bogotá: AIS.
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 194 - 205.
- Botta, N. A. (Febrero de 2025). *Dinámica de las Explosiones Industriales*. Rosario, Argentina: Editorial Red Proteger.
- CDA. (2019). *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams*. Canadian Dam Association.
- CDGRD, C. D. (2018). *Estrategia Departamental de Respuesta a Emergencias EDRE del Departamento de Antioquia*. Medellín, Antioquia.
- CDPMIF, C. D. (2019). *Informes de Gestión Anual 1999 al 2016*. Bogotá D.C., Colombia.
- CEPAL. (Febrero de 2014). *Manual para la Evaluación de Desastres*. Manual para la Evaluación de Desastres. Santiago de Chile, Chile.
- CMGRD, C. M. (Agosto de 2017). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de San Roque*. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de San Roque. San Roque, Antioquia, Colombia.
- CMGRD, C. M. (2017). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del Municipio de San Roque*. San Roque, Antioquia.
- 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, C. A. (Agosto de 2025). *Informe de Resultados de la Vulnerabilidad y El Riesgo Climático de Gramalote Colombia Limitada. Fase 2 Proyecto de Actualización de la Vulnerabilidad y el Riesgo Climático en la Jurisdicción de Cornare*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- DAPARD, D. A. (2018). *Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres*. Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del Departamento de Antioquia. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Decreto 2157, P. d. (20 de Diciembre de 2017). *Decreto 2157 de 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. Bogotá, Colombia.

- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE. (2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2023, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/nacimientos-y-defunciones>
- DPN, D. N. (2020). Metodologías para Desarrollar Análisis y Evaluación del Riesgo de Desastres. *Metodologías para Desarrollar Análisis y Evaluación del Riesgo de Desastres*. Bogotá D.C., Colombia.
- EOT, A. M. (Diciembre de 2019). Revisión general y ajuste del esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de Yolombó. Yolombó, Colombia.
- FAO & Gobernación de Antioquia. (2018). Plan Integral de Cambio Climático de Antioquia. Bogotá, Colombia: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC/PIGCCT%20Antioquia.pdf>.
- FIRMS, F. I. (2025). *Fire Information for Resource Management System*. Obtenido de <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Gobernación de Antioquia. (2021). Formulación del Plan de Adaptación al Cambio Climático desde Salud Ambiental para Antioquia 2021 - 2031. Medellín, Colombia: <https://dssa.gov.co/images/2022/documentos/PACCSA.pdf>.
- Golder . (2022). *SITE-SPECIFIC PROBABILISTIC - DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT AND ACCELERATION TIME HISTORIES (Gramalote TSF Dam Site, Antioquia, Colombia)*. Atlanta: Golder.
- Golder Associates USA Inc. (2022). *SITE-SPECIFIC PROBABILISTIC - DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT AND ACCELERATION TIME HISTORIES (Gramalote TSF Dam Site, Antioquia, Colombia)*. Atlanta.
- Gramalote Colombia Limited. (s.f.). *Documento técnico con estándar. Tomo I. Estimación de recursos minerales. Título Minero T1429211*.
- Gramalote Colombia Limited, G. (2023). Huella de Carbono Proyecto Minero Gramalote. *Reporte de Emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI)* . San Roque, Antioquia, Colombia.
- Hawley, M., & Cunning, J. (2017). *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design, Large Open PIT (LOP) Project*. Claytib South Victoria, Australia: CSIRO Publishing.
- Hunter, G., & Fell, R. (2003). Travel distance angle for “rapid” landslides in constructed and natural soil slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 1123-1141.
- Ideam. (2024). Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia. Gases de Efecto Invernadero (1990-2021). Contaminantes Criterio y Carbono Negro (2010-2021). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia. Gases de Efecto Invernadero (1990-2021). Contaminantes Criterio y Carbono Negro (2010-2021)*. Bogotá D.C., Colombia: ISBN (digital): 978-958-5489-33-2.

- IDEAM. (Diciembre de 2025). *Monitoreo de puntos de calor en Colombia*. Obtenido de [https://puntosdecalor.ideam.gov.co/?from_date=2025-12-16&to_date=2025-12-17&extent=\(6.555474602201876_-85.01220703125_-5.353521355337321_-63.50097656250001\)&region=colombia](https://puntosdecalor.ideam.gov.co/?from_date=2025-12-16&to_date=2025-12-17&extent=(6.555474602201876_-85.01220703125_-5.353521355337321_-63.50097656250001)&region=colombia)
- Ideam, I. d. (2025). *Ideam*. Obtenido de IDEAM <http://www.ideam.gov.co/>
- Ley 1523, C. d. (24 de Abril de 2012). Ley 1523 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*. Bogotá, Colombia.
- Millán, J. & González, A. (2001). *Evaluación de la acción del hombre en los estudios de amenaza y riesgo por deslizamiento en Bogotá (Colombia)*. Bogotá: III Simposio Panamericano de Deslizamientos.
- MinEnergía, M. d. (Abril de 2022). Política de Seguridad Minera. Bogotá D.C, Colombia: https://www.minenergia.gov.co/documents/6027/Pol%C3%ADtica_Nal.Seguridad_Minera_ajustada_vrs_MAL_29032022_2__01042022_comentario_9egb6kZ.pdf.
- Miniambiente, M. d. (30 de Diciembre de 2021). Definiciones de la Evaluación de Daños y Necesidades Ambientales - EDANA. Bogotá D.C., Colombia.
- Naciones Unidas. (Junio de 1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Río de Janeiro, Brasil.
- Paris, G. M. (2000). *Map and database of Quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions*. USGS.
- Pascual, D. A., Toro, F. H., Alonso, F. G., Rivas, M. M., & Rocha, J. D. (2011). Incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia, Tomo 1 . *Incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia, Tomo 1* . Cali: ISBN de la obra completa: 978-958-8713-02-1.
- Ramirez F; González A.J. (1989). *Sistema Semicuantitativo de Evaluación a Escala Intermedia de Zonas Homogéneas de Estabilidad- I*. Paipa: Simposio Suramericano de Deslizamientos.
- RAMIREZ, F., & GONZALEZ, A. (1989). Sistema Semicuantitativo de Evaluación a Escala Intermedia de Zonas Homogéneas de Estabilidad. *Simposio Suramericano de Deslizamientos*.
- Ramírez, F., & González, A. J. (1989). *Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas. Simposio Suramericano de deslizamiento*. Paipa-Colombia.
- SARA. (2016). *South America Risk Assessment (SARA) Hazardous Crustal Fault Database*. Obtenido de <https://sara.openquake.org/start>
- Servicio Geológico Colombiano - SGC. (06 de Julio de 2022). *Sismicidad histórica de Colombia*. Obtenido de Sismicidad histórica de Colombia: <http://sish.sgc.gov.co/visor/>
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Memoria Explicativa del mapa de geomorfología para movimientos en masa de la plancha 132 Yolombó departamento de Antioquia - Versión 2*. Bogotá.

- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano. doi:<https://doi.org/10.32685/9789589952856>
- SGC, S. G. (2025). *Sismos SGC*. Obtenido de <https://www.sgc.gov.co/sismos>
- UNGRD. (2016). *Guía metodológica para el desarrollo de simulaciones y simulacros*. Bogotá D.C.
- UNGRD. (2017). *Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes*. Bogotá. D.C, Colombia: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/20761/Terminologia-GRD-2017.pdf;jsessionid=CE6F0B43A0B9DF9AF8FBF52AB97FD2BB?sequence=2>.
- UNGRD. (Julio de 2018). Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. *Lo que usted debe saber sobre riesgo tecnológico*. Bogotá D.C, Colombia: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/27100/Riesgo_Tecnologico.pdf?sequence=5&isAllowed=y.
- UNGRD. (01 de febrero de 2022). Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. *Riesgo por Inundaciones - Caracterización General*. Bogotá D.C., Colombia: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/36815/Riesgo%20por%20inundaciones.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- UNGRD. (2025). Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. *Inundaciones*. Bogotá D.C.: <https://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=144>.
- UNGRD, U. N. (Mayo de 2023). Identificación de escenarios Natech en Colombia 2021 - 2022. Bogotá, Colombia: Subdirección para el Conocimiento de Riesgo.
- UNGRD, U. N. (Agosto de 2025). Actualización de análisis de accidentes tecnológicos y Natech en Colombia. Bogotá D.C, Colombia: ISBN: 978-958-5509-39-9.
- USGS, U. S. (2025). *Lastes Earthquakes*. Obtenido de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>