Integral
INGENIEROS CONSULTORES

gramalote
Colombia

HIDROLOGÍA

TABLA DE CONTENIDO

ATENCION A REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ADICIONAL 1
ACTA 30 DE 30 DE JUNIO DE 2026 1
5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 1
5.1 MEDIO ABIÓTICO 1
5.1.5 HIDROLOGÍA 1

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.5.1 Características de las estaciones hidrometereológicas cercanas al área de influencia. 6

Tabla 5.1.5.2 Características de las estaciones hidrometereológicas aportadas por el proyecto GRAMALOTE. 6

Tabla 5.1.5.3 Parámetros morfométricos de las cuencas de línea base..... 33

Tabla 5.1.5.4 Información general de las estaciones de monitoreo cercanas al área de influencia. 36

Tabla 5.1.5.5 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos medios anuales de precipitación y caudal. 36

Tabla 5.1.5.6 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos máximos escala anual (precipitación y caudal)..... 37

Tabla 5.1.5.7 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos mínimos de caudal a escala anual. 37

Tabla 5.1.5.8 Resultados de la prueba de tendencia para los datos medios anuales de precipitación y caudal. 37

Tabla 5.1.5.9 Resultados de la prueba de tendencia para los datos máximos a escala anual (precipitación y caudal)..... 38

Tabla 5.1.5.10 Resultados de la prueba de tendencia para los datos mínimos de caudal a escala anual. 38

Tabla 5.1.5.11 Resultados de la prueba estadística de Grubbs-Beck para la totalidad de las estaciones IDEAM consultadas. 42

Tabla 5.1.5.12 Caudales medios mensuales multianuales - Estación Caramanta... 43

Tabla 5.1.5.13 Temperatura máxima, media y mínima diaria para las estaciones analizadas..... 47

Tabla 5.1.5.14 Ciclos medios mensuales de temperatura para cada una de las estaciones analizadas..... 48

Tabla 5.1.5.15 Promedio de la temperatura máxima, media y mínima a escala anual para cada una de las estaciones analizadas..... 48

Tabla 5.1.5.16 Estaciones pluviométricas del IDEAM utilizadas para el análisis de lluvias en el área de caracterización climática. 52

Tabla 5.1.5.17 Valores medios mensuales de precipitación para cada estación. 52

Tabla 5.1.5.18 Caudales medios multianuales por el método de balance hídrico a largo plazo para las cuecas de línea base sin instrumentar. 58

Tabla 5.1.5.19 Caudales medios multianuales mediante el método de transferencia para las cuecas de línea base sin instrumentar. 59

Tabla 5.1.5.20 Caudales Medios Multianuales en m3/s para las cuencas no instrumentadas. 59
Tabla 5.1.5.21 Caudales máximos estimados en la estación Caramanta..... 62
Tabla 5.1.5.22 Comparativo de las precipitaciones máximas en 24 horas para las estaciones San Roque y Granja Experimental El Nus (datos actualizados Vs anterior EIA). 66
Tabla 5.1.5.23 Extrapolación lineal de la tendencia de la media (29 años) y desviación hasta el 2.050 y 2.100 67
Tabla 5.1.5.24 Tiempos de concentración estimados y adoptado para cada cuenca.70
Tabla 5.1.5.25 Ponderación en el área del número de curva según el uso del suelo (cuencas de línea base). 71
Tabla 5.1.5.26 Coeficientes de escorrentía para las hoyas hidrográficas de línea base. 74
Tabla 5.1.5.27 Comparación y elección de los coeficientes de escorrentía y Números de Curva. 74
Tabla 5.1.5.28 Precipitaciones para diferentes periodos de retorno en la estación San Roque. 75
Tabla 5.1.5.29 Estimación de caudales máximos por metodología y periodo de retorno. 76
Tabla 5.1.5.30 Caudales máximos adoptados para las cuencas hidrográficas de línea base. 77
Tabla 5.1.5.31 Caudales mínimos estimados para la estación Caramanta [23087160]. 78
Tabla 5.1.5.32 Caudales mínimos según las ecuaciones de regionalización de EPM (2005). 79
Tabla 5.1.5.33 Caudales mínimos según parametrización de CORNARE. 79
Tabla 5.1.5.34 Caudales mínimos según la metodología de transposición de información. 79
Tabla 5.1.5.35 Caudales mínimos asumidos para las principales cuencas no instrumentadas. 80
Tabla 5.1.5.36 Características de las cuencas que son objeto de estudio aplicando la metodología Grecco. 81
Tabla 5.1.5.37 Percentiles 95 de excedencia para cada sitio de análisis (m3/s). 81
Tabla 5.1.5.38 Calificación relacionada con la longitud de impacto ante una disminución drástica de caudal (metodología Grecco). 82
Tabla 5.1.5.39 Índice de calidad del agua en las estaciones de muestreo. 83
Tabla 5.1.5.40 Calificación del Índice de calidad del agua para las captaciones CC15, CC16 y CC17 (Rio Nus). 83

Tabla 5.1.5.41 Calificación del Índice de calidad del agua para las captaciones CC18, CC19, CC22 y CC23 (Quebrada Guacas). 84
Tabla 5.1.5.42 Calificación del Índice de calidad del agua para la captación CC20 (Quebrada El Balsal). 84
Tabla 5.1.5.43 Calificación del Índice de calidad del agua para la captación CC21 (Quebrada La Negra). 85
Tabla 5.1.5.44 Concentraciones de DQO identificadas en los cuerpos de agua de análisis. 85
Tabla 5.1.5.45 Calificación de la DQO para el rio Nus (CC15, CC16 y CC17). 86
Tabla 5.1.5.46 Calificación de la DQO para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23). 86
Tabla 5.1.5.47 Calificación de la DQO para la Quebrada El Balsal (CC20). 86
Tabla 5.1.5.48 Calificación de la DQO para la Quebrada La Negra (CC21). 87
Tabla 5.1.5.49 Calificación del Índice de Integridad Biótica de Peces. 87
Tabla 5.1.5.50 Calificación del índice de integridad biótica de peces. 88
Tabla 5.1.5.51 Calificación de especies que migran están amenazada o en peligro.88
Tabla 5.1.5.52 Categoría de amenaza de las especies de peces colectadas en ellos sitios de captación. 89
Tabla 5.1.5.53 Calificación del BMWP'/Col. 89
Tabla 5.1.5.54 Índice de integridad biótica obtenido para la comunidad bentónica. 90
Tabla 5.1.5.55 Métricas de las plantas vasculares empleadas para la construcción del IIBVegRip. 91
Tabla 5.1.5.56 Puntajes de las variables utilizadas. 92
Tabla 5.1.5.57 Interpretación del IIB de la vegetación riparia. 92
Tabla 5.1.5.58 Calificación del IIB de la vegetación riparia. 93
Tabla 5.1.5.59 Clasificación del Grupo funcional y hábitat de las especies del muestreo. 93
Tabla 5.1.5.60 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC15. 94
Tabla 5.1.5.61 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC16. 95
Tabla 5.1.5.62 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC17. 95
Tabla 5.1.5.63 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC18. 96
Tabla 5.1.5.64 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC19. 96

Tabla 5.1.5.65 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC20. 97
Tabla 5.1.5.66 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC21. 97
Tabla 5.1.5.67 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC22. 98
Tabla 5.1.5.68 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC23. 98
Tabla 5.1.5.69 Calificación de la diversidad del perifiton. 99
Tabla 5.1.5.70 Calidad del agua por diversidad del Perifiton según índice de Shannon-Wiener. 99
Tabla 5.1.5.71 Criterio de visibilidad. 100
Tabla 5.1.5.72 Calificación de la modificación del paisaje para el rio Nus (CC15, CC16 y CC17). 101
Tabla 5.1.5.73 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23). 101
Tabla 5.1.5.74 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada La Negra (CC21). 101
Tabla 5.1.5.75 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada El Balsal (CC20). 102
Tabla 5.1.5.76 Criterio de usos del agua aguas abajo de las concesiones. 103
Tabla 5.1.5.77 Caudales a concesionar por el proyecto. 103
Tabla 5.1.5.78 Caudal total para realizar el ponderado. 103
Tabla 5.1.5.79 Calificación de usos del agua en el sector con caudal modificado sobre el rio Nus (CC15, CC16 y CC17). 104
Tabla 5.1.5.80 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23). 104
Tabla 5.1.5.81 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada La Negra (CC21). 104
Tabla 5.1.5.82 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada El Balsal (CC20). 105
Tabla 5.1.5.83 Caudal de garantía ambiental para el punto CC15. 106
Tabla 5.1.5.84 Caudal de garantía ambiental para el punto CC16. 106
Tabla 5.1.5.85 Caudal de garantía ambiental para el punto CC17. 106
Tabla 5.1.5.86 Caudal de garantía ambiental para el punto CC18. 106
Tabla 5.1.5.87 Caudal de garantía ambiental para el punto CC19. 106
Tabla 5.1.5.88 Caudal de garantía ambiental para el punto CC20. 107

Tabla 5.1.5.89 Caudal de garantía ambiental para el punto CC21. 107
Tabla 5.1.5.90 Caudal de garantía ambiental para el punto CC22. 107
Tabla 5.1.5.91 Caudal de garantía ambiental para el punto CC23. 107
Tabla 5.1.5.92 Resultados de caudal ambienta luego de aplicar la Metodología 1 (MinAmbiente, 2014). 109
Tabla 5.1.5.93 Resultados de caudal ambiental luego de aplicar la Metodología 2 (MinAmbiente, 2014). 109
Tabla 5.1.5.94 Caudales ambientales asumidos para las cuencas de línea base asociadas al área de influencia. 110
Tabla 5.1.5.95 Índice de Aridez. 111
Tabla 5.1.5.96 Categoría del índice de retención de la Regulación Hídrica del Rio Nus. 111
Tabla 5.1.5.97 Índices de Uso del Agua (IUA) de las cuencas de línea base. 112
Tabla 5.1.5.98 Matriz de relación del Índice de Vulnerabilidad Hídrica. 113
Tabla 5.1.5.99 Índice de Vulnerabilidad Hídrica por cuenca. 113
Tabla 5.1.5.100 Plan de caudales utilizado para realizar las simulaciones hidráulicas. 114

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.5.1 Ubicación general del proyecto de modificación de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. 2
Figura 5.1.5.2 Productos topográficos y cartográficos utilizados como insumo para los análisis realizados. 4
Figura 5.1.5.3 Localización general de las estaciones IDEAM y GRAMALOTE. 5
Figura 5.1.5.4 Localización de cuencas dentro del área de Influencia. 8
Figura 5.1.5.5 Delimitación de la cuenca del río Nus y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 9
Figura 5.1.5.6 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Topacio y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 11
Figura 5.1.5.7 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Banco y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 12
Figura 5.1.5.8 Delimitación de la cuenca de la quebrada San Antonio y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 13
Figura 5.1.5.9 Delimitación de la cuenca de la quebrada Guacas y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 15
Figura 5.1.5.10 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Colorada y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 16
Figura 5.1.5.11 Delimitación de la cuenca de la quebrada La María y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 17
Figura 5.1.5.12 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Torito y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 18
Figura 5.1.5.13 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Palestina y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. 19
Figura 5.1.5.14 Hoyas susceptibles de intervención. 20
Figura 5.1.5.15 Cuerpo léntico en el área de influencia. 21
Figura 5.1.5.16 Sistema de flujos de agua subterránea. 23
Figura 5.1.5.17 Mapa de zonas de recarga y descarga. 24
Figura 5.1.5.18 Cuencas con patrón de drenaje dendrítico. 29
Figura 5.1.5.19 Patrón de drenaje de las cuencas susceptibles a intervención. 30
Figura 5.1.5.20 Análisis grafico realizado para verificar la correlación de la precipitación y el caudal con el fenómeno ENSO. 40
Figura 5.1.5.21 Resultados obtenidos para la prueba estadística de Grubbs-Beck (estaciones cercanas al área de estudio). 42

Figura 5.1.5.22 Serie de caudales medios diarios de la estación Caramanta (1996-2022)..... 43
Figura 5.1.5.23 Caudales medios mensuales multianuales estación Caramanta [23087160]..... 44
Figura 5.1.5.24 Grafico de Cajas del caudal medio por año..... 45
Figura 5.1.5.25 Gráfico de Cajas del caudal medio a escala mensual multianual. .. 45
Figura 5.1.5.26 Curva de duración de caudales en la estación Caramanta [23087160]..... 46
Figura 5.1.5.27 Curva de duración adimensionalizada en la estación Caramanta [23087160]..... 46
Figura 5.1.5.28 Ráster de temperaturas medias multianuales (5m x 5m) e Isotermas para el área de caracterización climática. 49
Figura 5.1.5.29 Ráster de temperaturas (5m x 5m) e Isotermas a nivel mensual para el área de caracterización climática 51
Figura 5.1.5.30 Ciclos característicos de la precipitación para cada estación. 53
Figura 5.1.5.31 Ráster de precipitaciones (5m x 5m) e Isoyetas para el área de caracterización climática. 54
Figura 5.1.5.32 Evapotranspiración espacial calculada por el método de Turc (mm).55
Figura 5.1.5.33 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial calculada por el método de Cenicafé modificado (Jaramillo Robledo, 2006)..... 56
Figura 5.1.5.34 Distribución espacial de la evapotranspiración real por el método de Budyko..... 57
Figura 5.1.5.35 Caudales máximos anuales de la estación Caramanta [23087160].60
Figura 5.1.5.36 Distribuciones de probabilidad en diferentes tipos de papel probabilístico..... 61
Figura 5.1.5.37 Curva de frecuencia de caudales máximos en la estación Caramanta. 62
Figura 5.1.5.38 Distribución de probabilidad para las estaciones en análisis. 63
Figura 5.1.5.39 Comparativo de Curvas IDF para la estación San Roque y Gja Exp. Nus (datos actualizados Vs anterior EIA). 65
Figura 5.1.5.40 Proyecciones de precipitación considerando la media y desviación móvil (análisis regresivo y progresivo)..... 67
Figura 5.1.5.41 Análisis de frecuencias de la estimación regresiva..... 68
Figura 5.1.5.42 Análisis de frecuencias de la estimación progresiva..... 69
Figura 5.1.5.43 Coberturas vegetales utilizadas para la definición de las propiedades hidrológicas de las hoyas hidrográficas bajo estudio..... 71
Figura 5.1.5.44 Caudales mínimos anuales en la estación Caramanta [23087160]. 77

Figura 5.1.5.45 Curva de frecuencia de caudales mínimos - Estación Caramanta.. 78
Figura 5.1.5.46 Geometría del modelo hidráulico..... 116
Figura 5.1.5.47 Perfiles de flujo en el río Nus..... 117
Figura 5.1.5.48 Velocidad del flujo en el río Nus. 118
Figura 5.1.5.49 Manchas de inundación para las caudales modelados. 119
Figura 5.1.5.50 Machas de inundación en la población de providencia..... 120

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1.5.1 Registros fotográficos del río Nus en la zona de caracterización hidrológica del proyecto. 10

Fotografía 5.1.5.2 Registros fotográficos sobre la quebrada Guacas en la zona de caracterización hidrológica del proyecto..... 14
Fotografía 5.1.5.3 Registros fotográficos sobre la quebrada la palestina en la zona de caracterización hidrológica del proyecto..... 20
Fotografía 5.1.5.4 Cuerpo léntico en el área de influencia. 22

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 5.1 Evapotranspiración real por el método de Turc. 55
Ecuación 5.2 Evapotranspiración real por el método de Budyko. 55
Ecuación 5.3 ETP total anual según Jaramillo Robledo, 2006. 56
Ecuación 5.4 Ecuación de transferencia de caudal. 58
Ecuación 5.5 Fórmula para el cálculo del índice de vegetación riparia. 92

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.5 HIDROLOGÍA

Este numeral presenta la caracterización hidrológica del área de influencia utilizada para el proceso de Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, el cual se encuentra ubicado en inmediaciones del municipio de San Roque y límites del municipio de Yolombó (ver Figura 5.1.5.1).

Es importante resaltar que, el análisis hidrológico del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se ha desarrollado de manera evolutiva a través de sus diferentes etapas de evaluación ambiental. Los estudios iniciales, presentados en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del 2015, establecieron una caracterización integral de la cuenca del río Nus, definiendo las unidades hidrográficas de influencia directa e indirecta del proyecto en su concepción original. Posteriormente, la primera Modificación de Licencia Ambiental (MEIA) del 2018 actualizó los registros de estaciones y ajustó el análisis al área de influencia específica de las obras de esa modificación, enfocándose en las cuencas de la margen derecha del río Nus.

En el marco del presente proceso de modificación y con el fin de atender la nueva configuración del proyecto, se realiza una actualización y focalización del estudio hidrológico. Esta caracterización tiene como objetivo determinar los caudales característicos y los indicadores hidrológicos correspondientes a las cuencas susceptibles de intervención directa por la infraestructura del proyecto; lo anterior haciendo uso de los datos de las estaciones hidro-climatológicas del *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM) que se encuentran en las proximidades del proyecto. Así mismo, como parte de este estudio se presentan los parámetros morfométricos de las cuencas de interés, los sistemas lénticos y lóticos que fueron identificados, junto con la red de drenaje y las zonas de recarga que se ubican en el área de influencia.

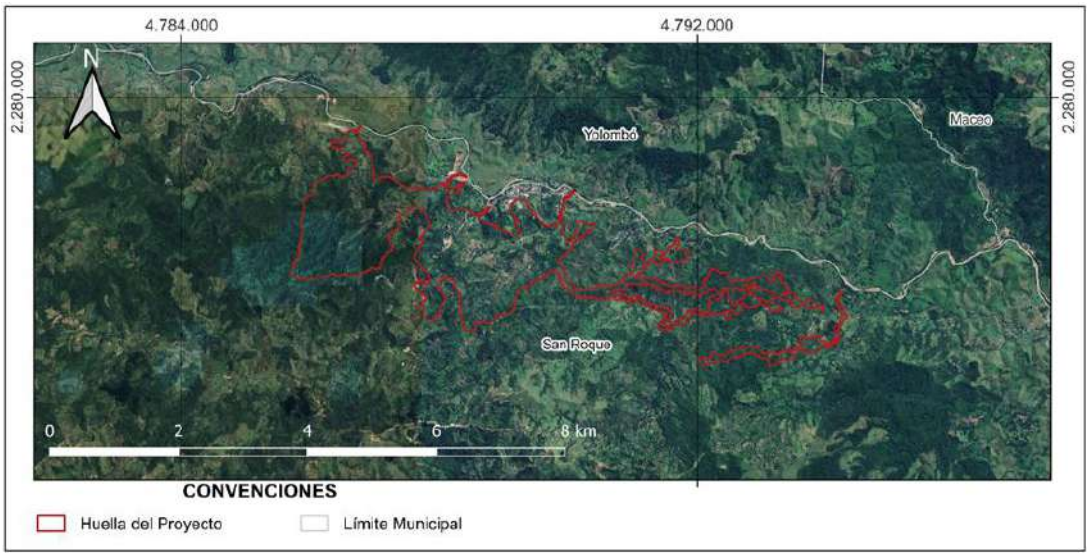


Figura 5.1.5.1 Ubicación general del proyecto de modificación de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote.

Fuente: Integral S.A., 2025

A. Revisión y análisis de la información

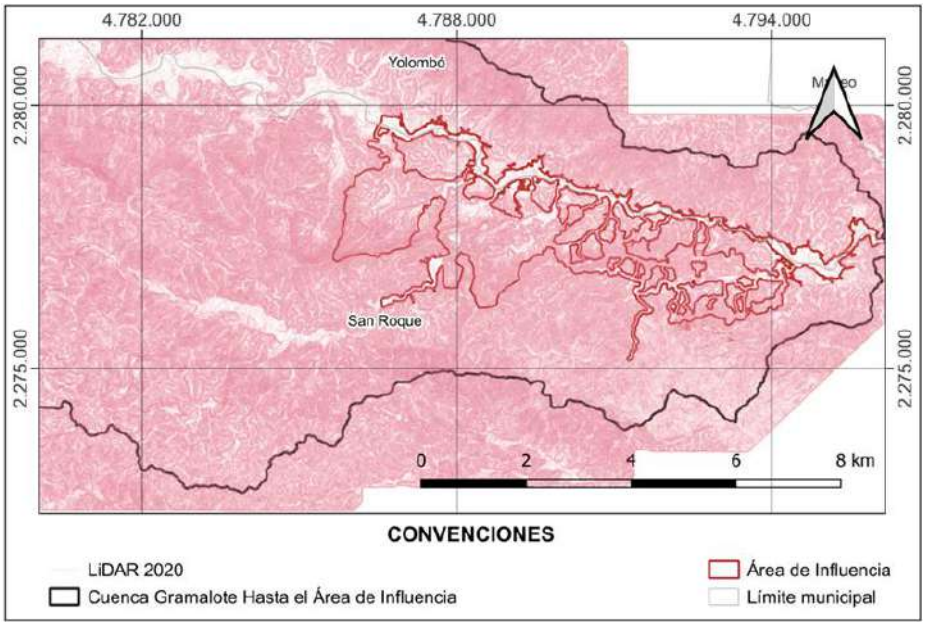
En esta sección se presenta la revisión de la información hidrológica y cartográfica disponible para el área de influencia hidrológica utilizada para el proceso de Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Cabe destacar que este proceso detalla las fuentes de los datos utilizados y sus principales características: escalas, ubicaciones, longitudes de registro, tipo de variable registrada, etc.

Adicionalmente, se realizó la consulta de existencia de información de Planes de Ordenación y Manejo de Cuenca (POMCA), Planes de Ordenación del Recurso Hídrico (PORH), y demás reglamentaciones o fuentes de información existentes, identificando que para las fuentes de interés no se cuenta con esquemas de ordenamiento del recurso hídrico, y tampoco se cuenta con objetivos de calidad de agua aprobados para los cauces para la fecha de elaboración de este informe.

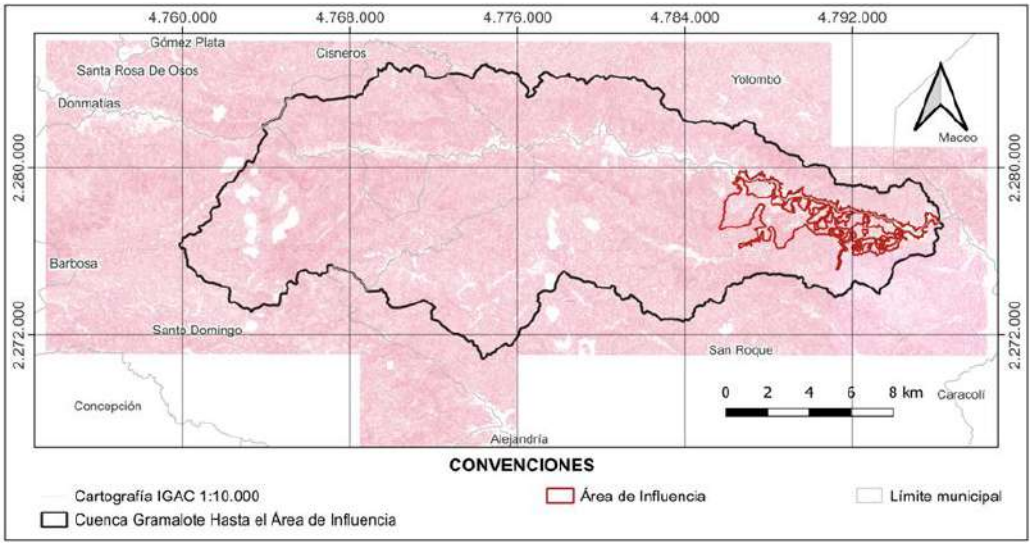
a. Información Cartográfica

Para el análisis de la zona de interés, se utilizó como insumo principal el levantamiento LiDAR con resolución espacial de 1,00 m x 1,00 m efectuado sobre una zona de estudio durante el año 2020 (ver Geodatabase asociada al proceso de modificación). Como complemento, se utilizó cartografía del *Instituto Geológico Agustín Codazzi* (IGAC) en escala 1:10.000 para delimitar las cuencas no cubiertas por el LiDAR Para los sectores donde se evidenció que la anterior fuente presentaba vacíos o faltantes (hecho observado

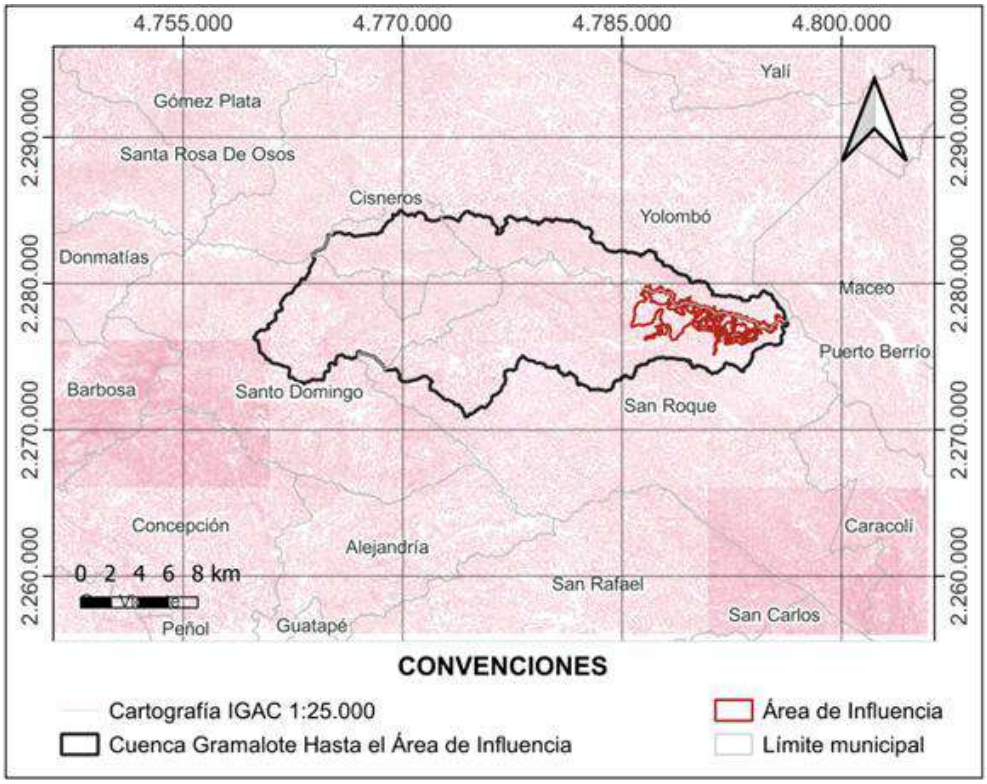
para el área de caracterización meteorológica) se recurrió a cartografía adicional en escala 1:25.000. En la Figura 5.1.5.2 se presentan los insumos anteriormente mencionados.



1) Insumo topográfico LiDAR 2020.



2) Insumo cartográfico escala 1:10.000.



3)Insumo cartográfico escala 1:25.000.

Figura 5.1.5.2 Productos topográficos y cartográficos utilizados como insumo para los análisis realizados.

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Información hidro-climatológica

La información requerida para parametrizar el área de influencia hidrológica utilizada para la modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote se obtuvo a escala diaria de la plataforma DHIME, aplicativo de consulta web que es administrado por el *Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM). En la Tabla 5.1.5.1 se presenta la información asociada a cada una de las estaciones utilizadas, especificando atributos tales como: localización, elevación y años de registro; mientras que en la Figura 5.1.5.3 se ilustra la ubicación general de dicha instrumentación (ver shapefile en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES).

Por otra parte, en la Tabla 5.1.5.2 se presentan las dos estaciones instaladas por Gramalote, las cuales se utilizarán únicamente para realizar un comparativo respecto a los productos analizados del IDEAM; esto debido a que no superan los 5 años, los cuales no superan la longitud mínima que es requerida según los *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto ambiental para Proyectos de Explotación Minera* (ANLA, 2016).

Respecto a las estaciones evaluadas, nueve (9) están destinadas al monitoreo diario de precipitación, con un período medio de registro de 42 años. Además, solo se dispone de una estación de caudal, la cual cuenta con datos de registros de 49 años.

Las estaciones hidrológicas consideradas para el estudio hidrológico se presentan en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-EST.

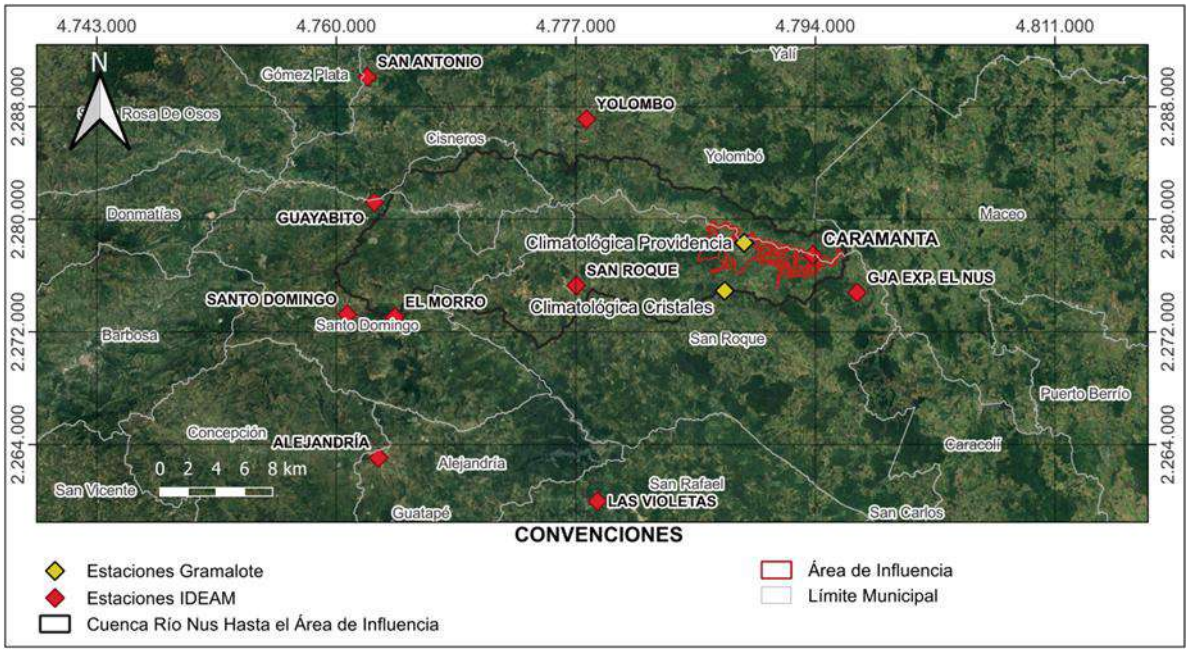


Figura 5.1.5.3 Localización general de las estaciones IDEAM y GRAMALOTE.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.1 Características de las estaciones hidrometereológicas cercanas al área de influencia.

Nombre estación	Código estación	Tipo	Variables	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Elevación (msnm. .)	Periodo de registro máximo		Años de registro
				Este (m)	Norte (m)		Desde	Hasta	
San Roque	23080760	PM	Precipitación	4.777.030,13	2.275.300,52	1.435	1.995	2.024	29
Gja Exp el Nus	23085080	CP	Precipitación	4.796.966,92	2.274.793,56	859	1.995	2.024	30
Alejandría	23085030	CO	Precipitación	4.762.999,44	2.263.061,87	1.712	1.998	2.024	27
El Morro	23080660	PG	Precipitación	4.764.158,38	2.273.053,21	2.210	1.973	1.986	13
Guayabito	27015190	CO	Precipitación	4.762.699,84	2.281.208,96	1.440	1.970	2.024	54
Las Violetas	23085210	CP	Precipitación	4.778.540,60	2.259.969,85	1.016	1.999	2.011	13
San Antonio	27011230	PM	Precipitación	4.762.196,24	2.290.101,65	1.029	2.004	2.024	21
Santo Domingo	23080390	PG	Precipitación	4.760.785,72	2.273.244,39	1.944	1.988	2.024	37
Yolombo	23100040	PM	Precipitación	4.777.751,96	2.287.106,39	1.442	2.005	2.024	20
Caramanta	23087160	LG	Caudal	4.793.814,14	2.277.469,54	670	1.974	2.022	49

Nota: PM: Pluviométrica, CO: Climatológica Ordinaria, CP: Climática principal, LG: Limnigráficas, PG: Pluviográfica.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.2 Características de las estaciones hidrometereológicas aportadas por el proyecto GRAMALOTE.

Nombre Estación	Tipo	Variables	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Elevación (msnm.)	Periodo de registro máximo		Años de registro
			Este (m)	Norte (m)		Desde	Hasta	
Providencia	CL	Precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, viento	4.788.946,70	2.278.327,98	978	2.021	2.024	3
Cristales	CL	Precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar	4.787.561,92	2.274.918,12	1.278	2.021	2.024	3

Nota: CL: Climatológica.

Fuente: Integral S.A., 2025

B. Caracterización de las cuencas

Con el objetivo de brindar un contexto general sobre las características de la zona del proyecto, en los siguientes numerales se presentan las principales cuencas hidrográficas que conforman la línea base, las cuales a su vez integran finalmente el área de influencia hidrológica utilizada para la solicitud de Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Las cuencas del área de estudio se presentan en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-HIDRO.

Cabe señalar que, por motivos de practicidad, la parametrización de las demás hoyas hidrográficas - tanto las correspondientes a la línea base como aquellas susceptibles de intervención -, se incluirán en los anexos que acompañan al presente estudio, dado que muchas de ellas conforman las cuencas que son de principal interés. (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES).

a. Descripción y localización de la red hidrográfica

La modificación de licencia ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se ubica entre los municipios de San Roque y Yolombó y la corriente principal más cercana al área de influencia corresponde al río Nus.

Como se ilustra en las siguientes secciones, se realizó la caracterización de las hoyas hidrográficas de línea base, entre ellas: el río Nus hasta la estación limnigráfica *Caramanta [23087160]*, y las quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina, cuencas ubicadas sobre la margen derecha del río Nus. (ver desde la Figura 5.1.5.4 hasta la Figura 5.1.5.13). Por otra parte, en la Figura 5.1.5.14 se presenta la red hidrográfica generalizada para las cuencas susceptibles de intervención las cuales cabe destacar hacen parte de las hoyas hidrográficas antes mencionadas.

Adicionalmente, para algunas de las cuencas se incluye el registro fotográfico obtenido durante las visitas de campo realizadas entre el 17 y 19 febrero de 2025, en el marco del levantamiento de los puntos de monitoreo de calidad de agua. Finalmente, se resalta que para la delimitación de cada cuenca se empleó información LIDAR; en las zonas no cubiertas por este insumo, se utilizó cartografía a escalas 1:10.000 y 1:25.000, respectivamente.

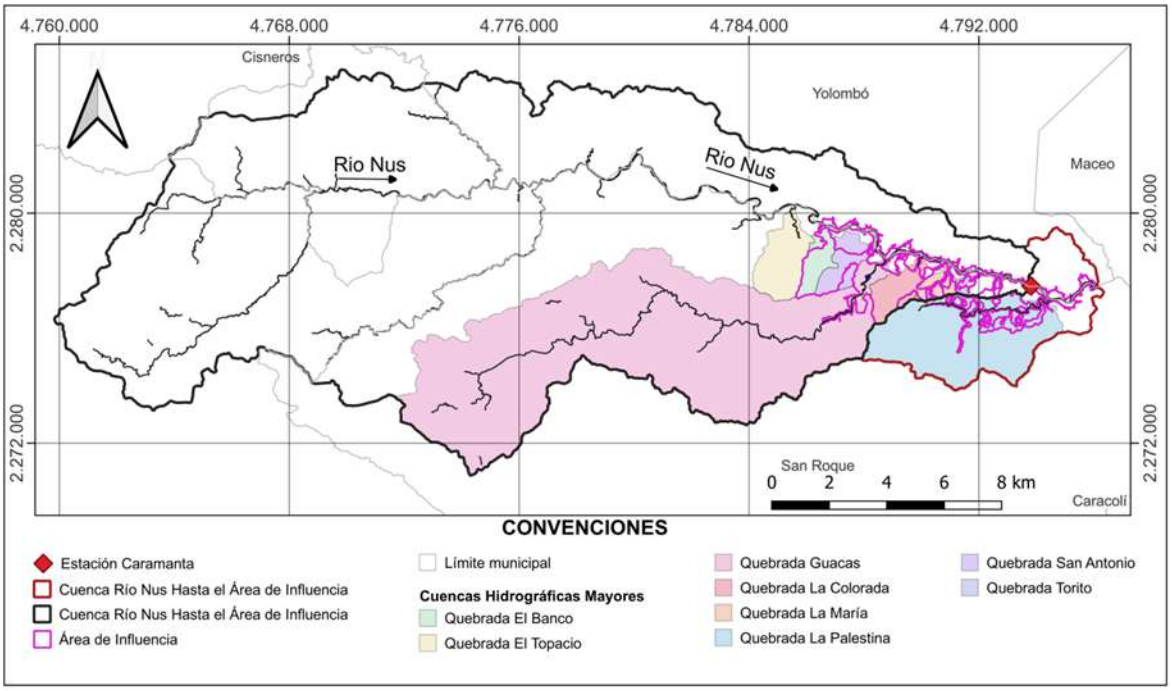


Figura 5.1.5.4 Localización de cuencas dentro del área de Influencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Rio 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.

En el presente informe, se caracteriza la cuenca del río Nus hasta la estación Caramanta, ya que, con los parámetros de la hoya hidrográfica hasta este punto se realizará el análisis de los caudales medios, mínimos, máximos y ambientales (ver numeral C). Adicionalmente se delimita la cuenca del río Nus hasta el límite del área de influencia (ver Figura 5.1.5.5), y en la Fotografía 5.1.5.1 se presentan registros fotográficos de la fuente tomados en febrero del 2025.

La cuenca del río Nus hasta la estación limnigráfica *Caramanta [23087160]* cuenta con un área de 277,60 km^2, con altitudes que varían entre los 2.230 msnm. hasta los 803 msnm; cuenta con un perímetro de 101,97 km y una la longitud de cauce de 50,25 km. Por otro lado, la hoya hidrográfica hasta el límite del área de influencia cuenta con un área de 299,34 km² y un perímetro de 109,81 km.

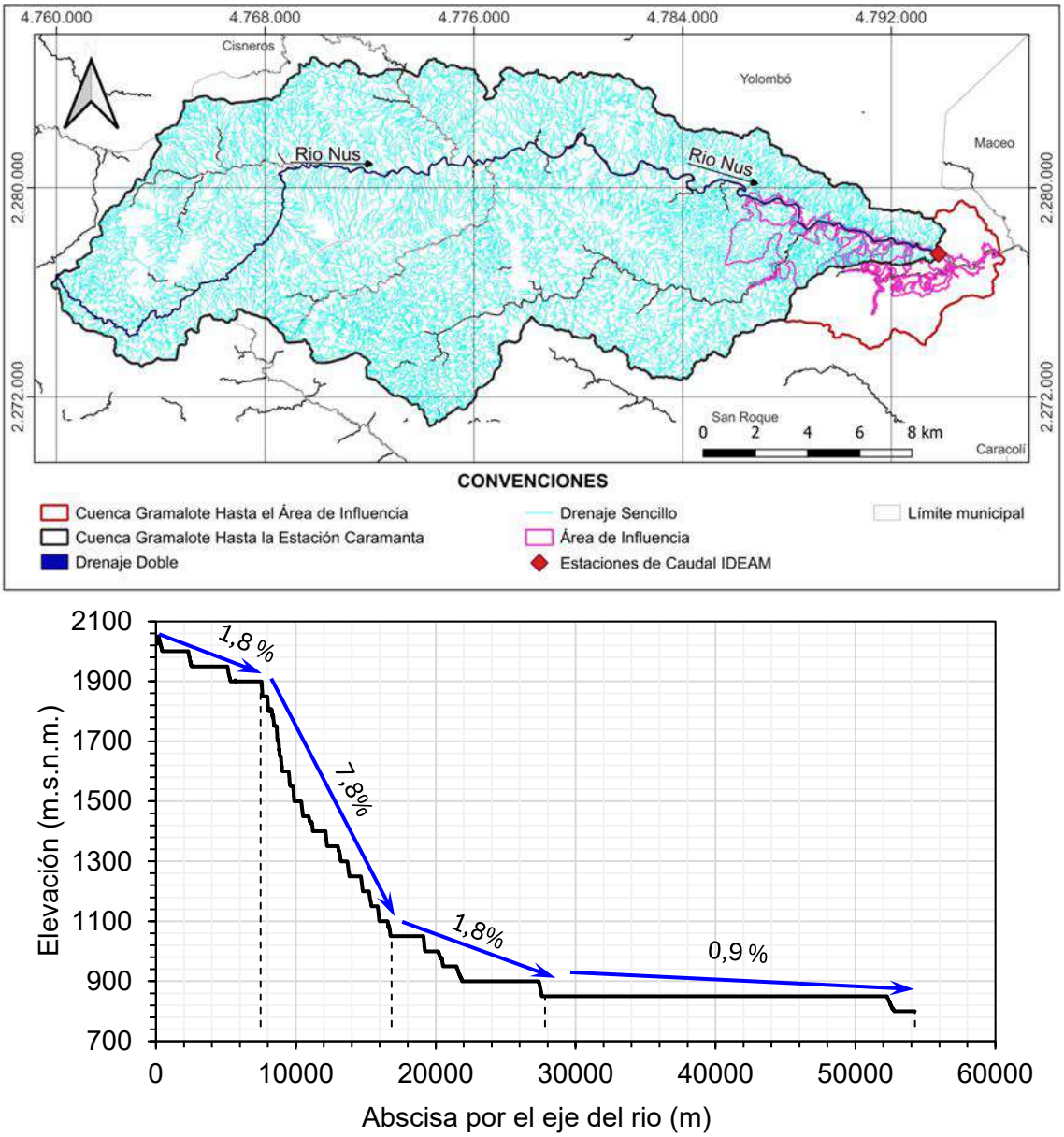


Figura 5.1.5.5 Delimitación de la cuenca del río Nus y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

Panorámica del río Nus aguas arriba de la zona de estudio

Zona aguas arriba de la desembocadura de la quebrada San Antonio

Ubicación de la estación limnigráfica Caramanta, vista hacia aguas arriba del puente

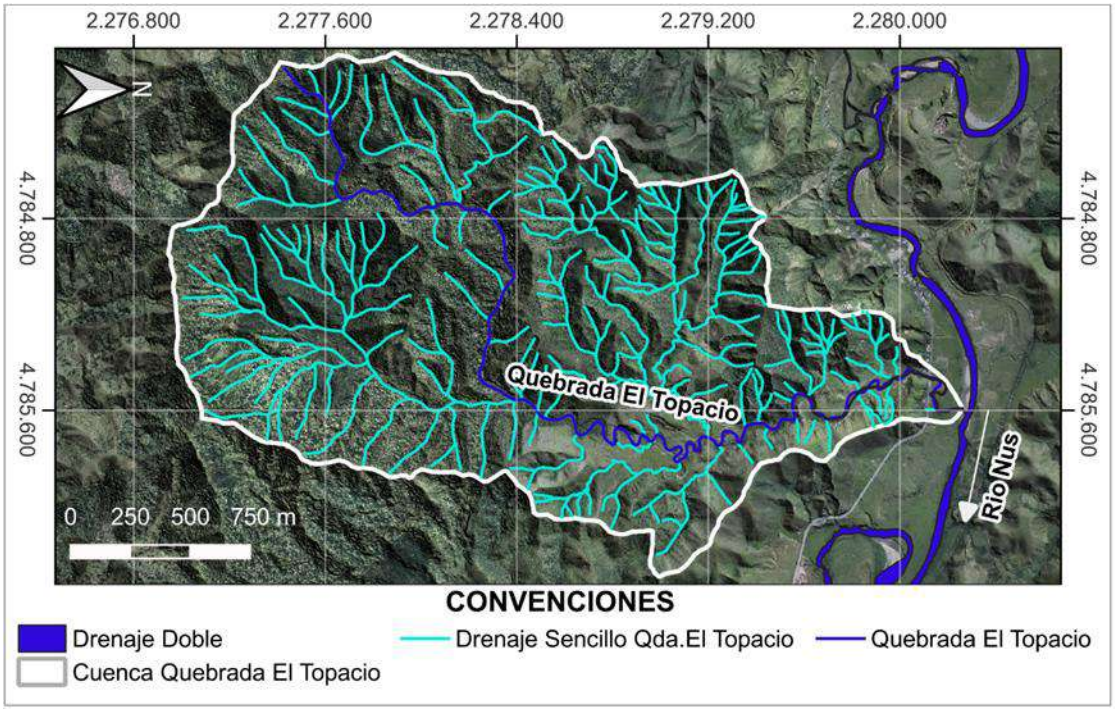
Panoramica, aguas debajo de limite del área de influencia

Fotografía 5.1.5.1 Registros fotográficos del río Nus en la zona de caracterización hidrológica del proyecto.

Fuente: Gotta., 2025

- Quebrada El Topacio

La cuenca de la quebrada El Topacio cuenta con un área de 4,06 km^2, con altitudes que varían entre los 1.255 msnm. hasta los 820 msnm.; una longitud de cauce de 5,33 km y un perímetro de 9,82 km. En la Figura 5.1.5.6 se presenta la hoya hidrográfica y el perfil correspondiente a su cauce principal.



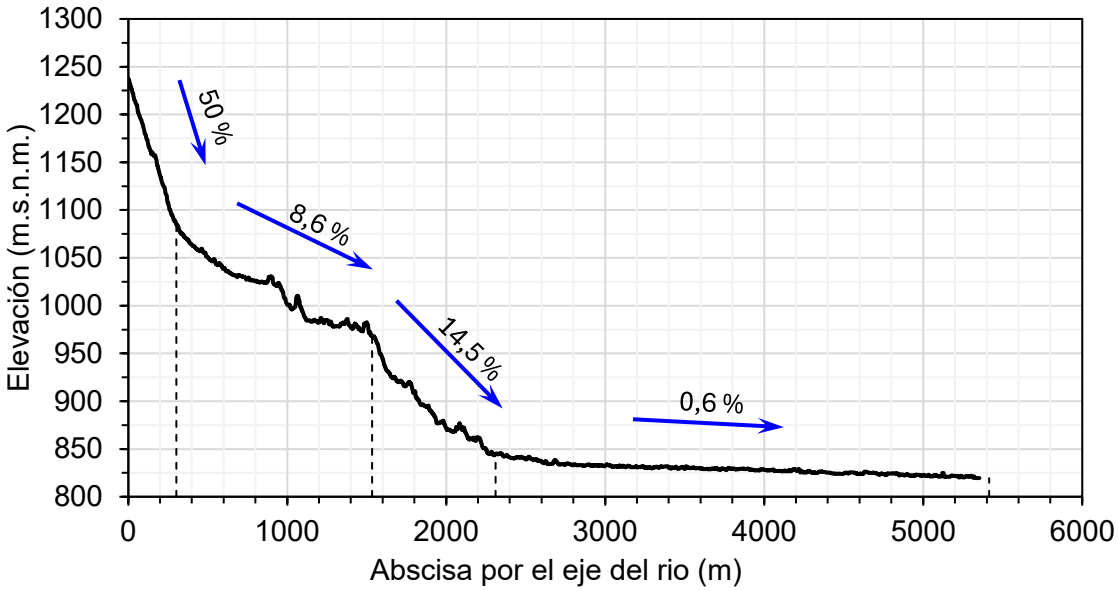


Figura 5.1.5.6 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Topacio y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Quebrada El Banco

En la Figura 5.1.5.7 se muestran la cuenca de la quebrada El Banco y el perfil del cauce principal. 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 msnm. a los 820 msnm.

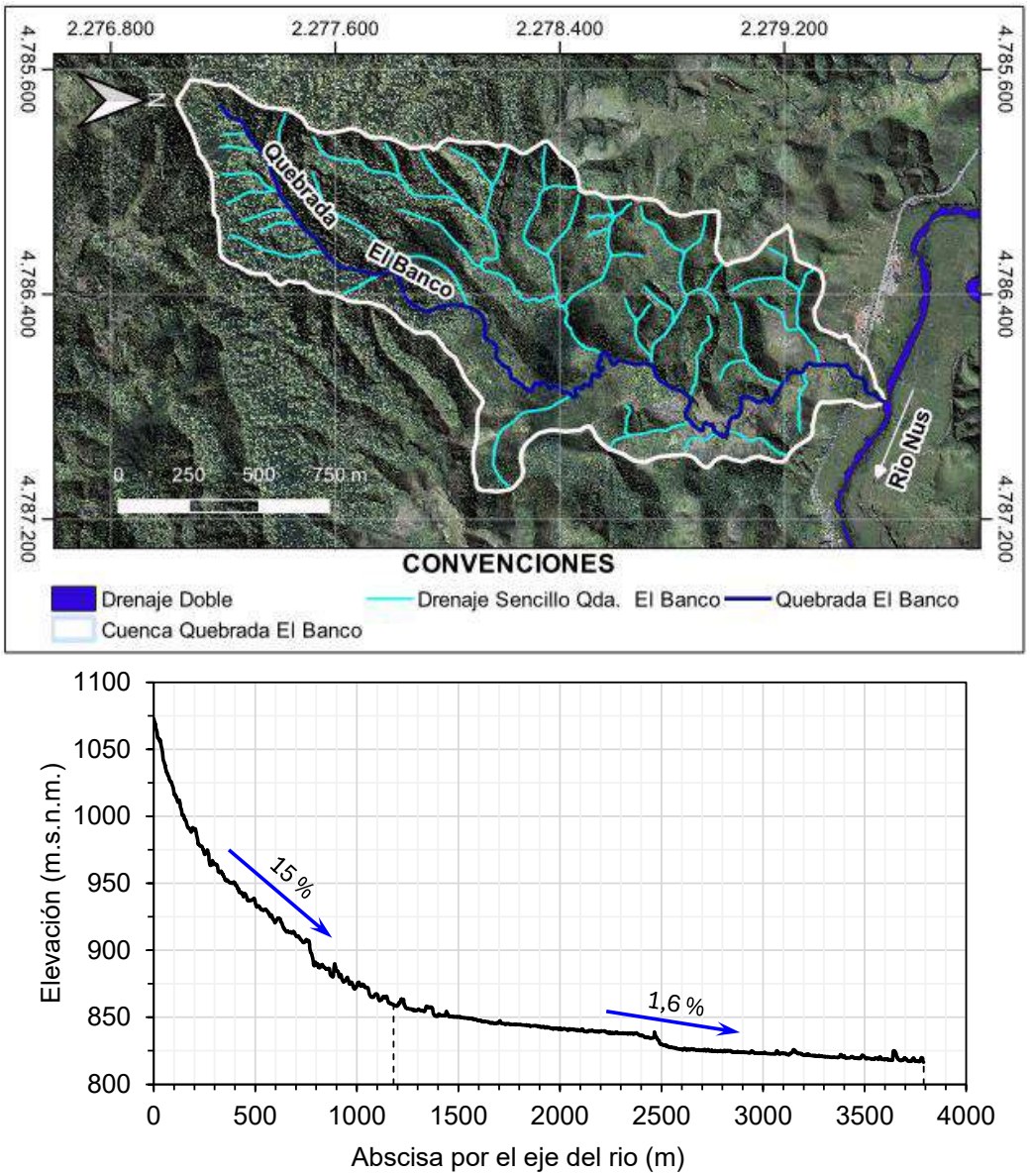


Figura 5.1.5.7 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Banco y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- 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 msnm. en su nacimiento y los 815 msnm. 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. En la Figura 5.1.5.8 se presenta los drenajes y el perfil de la cuenca.

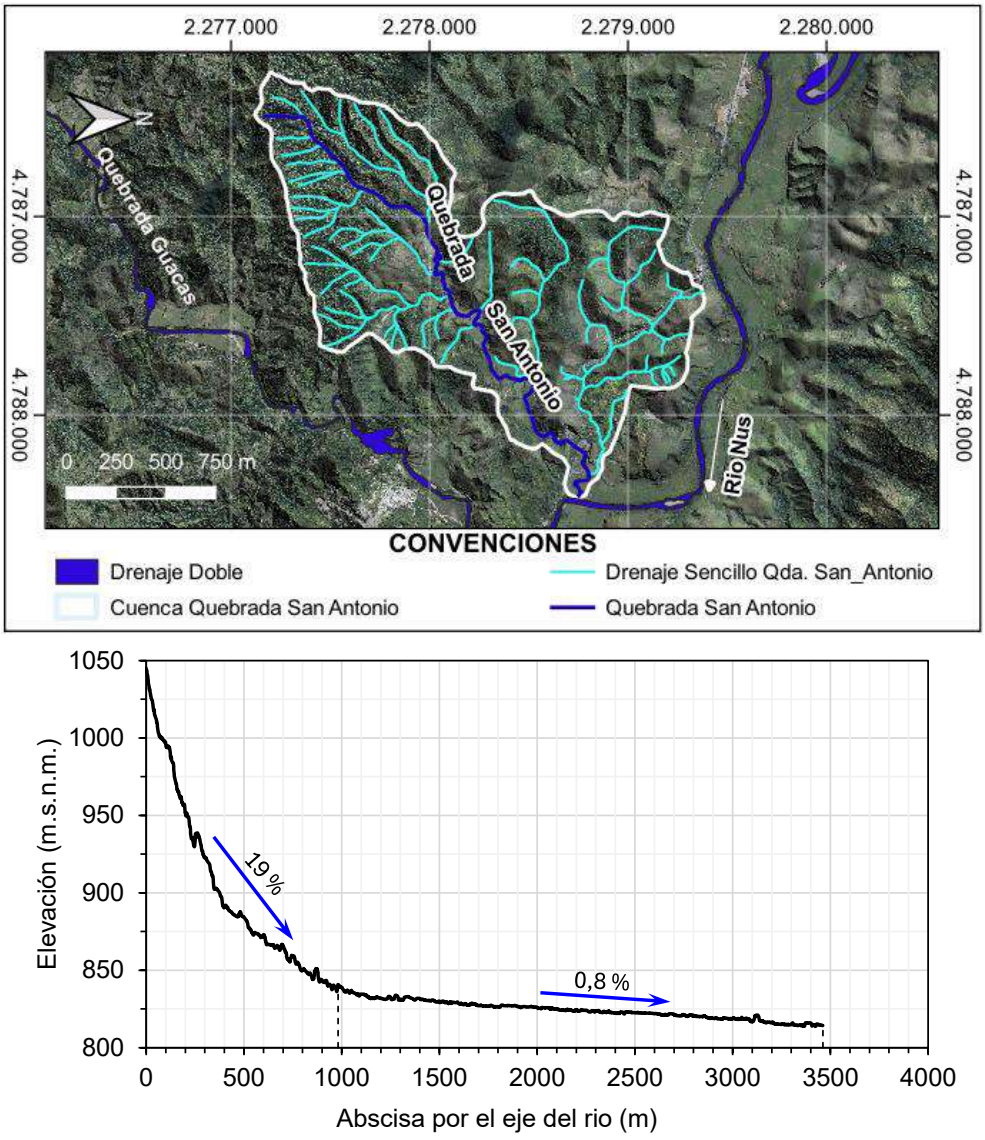


Figura 5.1.5.8 Delimitación de la cuenca de la quebrada San Antonio y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- 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 (ver Fotografía 5.1.5.2 y Figura 5.1.5.9). Se caracteriza por tener un área de 64,13 km^2, con altitudes que varían entre los 1.820 msnm aproximadamente en su nacimiento y los 815 msnm. 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.

Fotografía 5.1.5.2 Registros fotográficos sobre la quebrada Guacas en la zona de caracterización hidrológica del proyecto.

Fuente: GOTTA., 2025

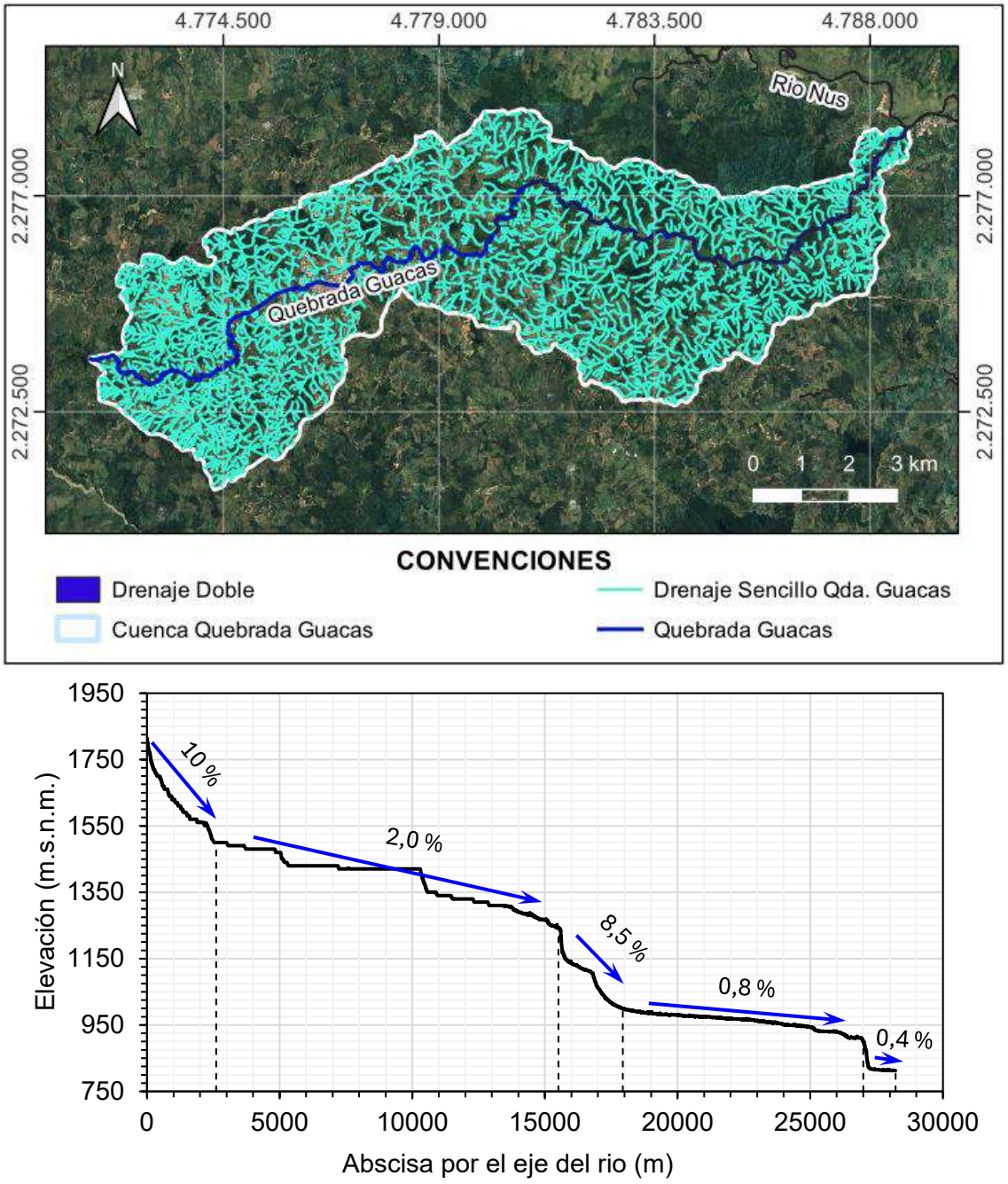


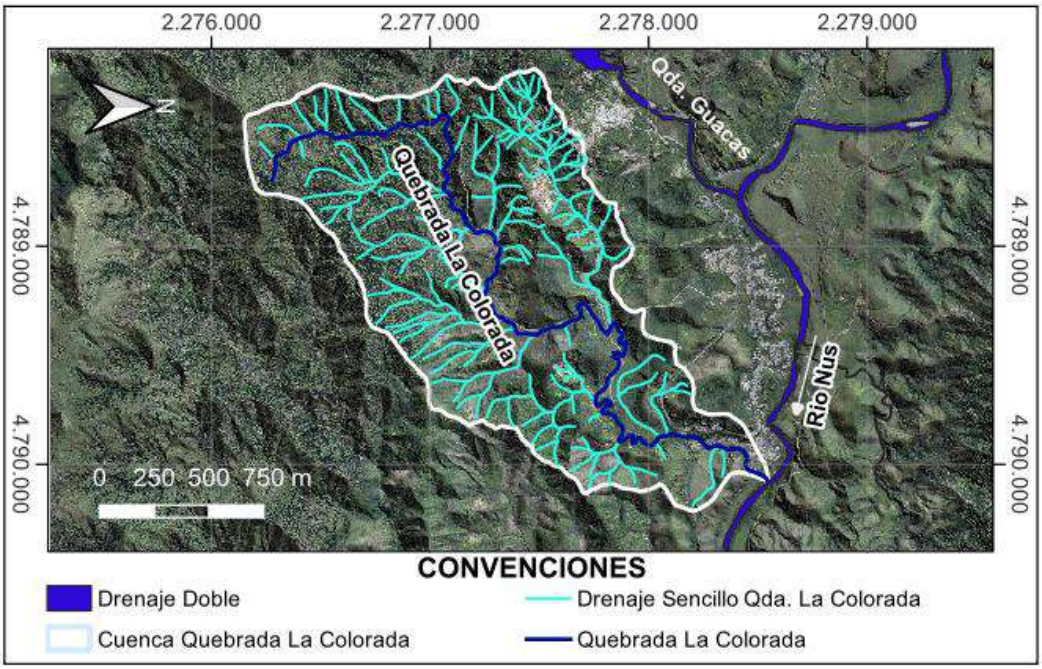
Figura 5.1.5.9 Delimitación de la cuenca de la quebrada Guacas y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Quebrada La Colorada

La cuenca de la quebrada La Colorada tiene un área de 2,33 km^2 con altitudes que varían entre los 1.160 msnm. en su nacimiento y los 815 msnm. en su desembocadura en el río

Nus, su perímetro es de 7,80 km y su longitud de cauce de 3,34 km. Su cuenca y perfil se presentan en la Figura 5.1.5.10.



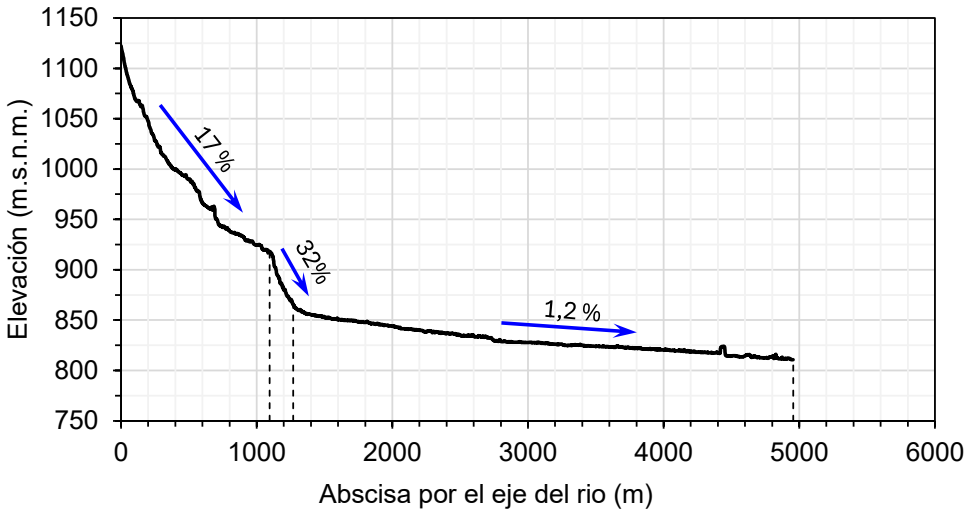


Figura 5.1.5.10 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Colorada y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Quebrada La María

La cuenca de la quebrada La María (ver Figura 5.1.5.11) tiene un área de 1,13 km², la cual cuenta con altitudes que varían entre los 980 msnm. en su nacimiento y los 810 msnm. en su desembocadura en el río Nus, su perímetro es de 4,93 km y su longitud de cauce es de 1,96 km.

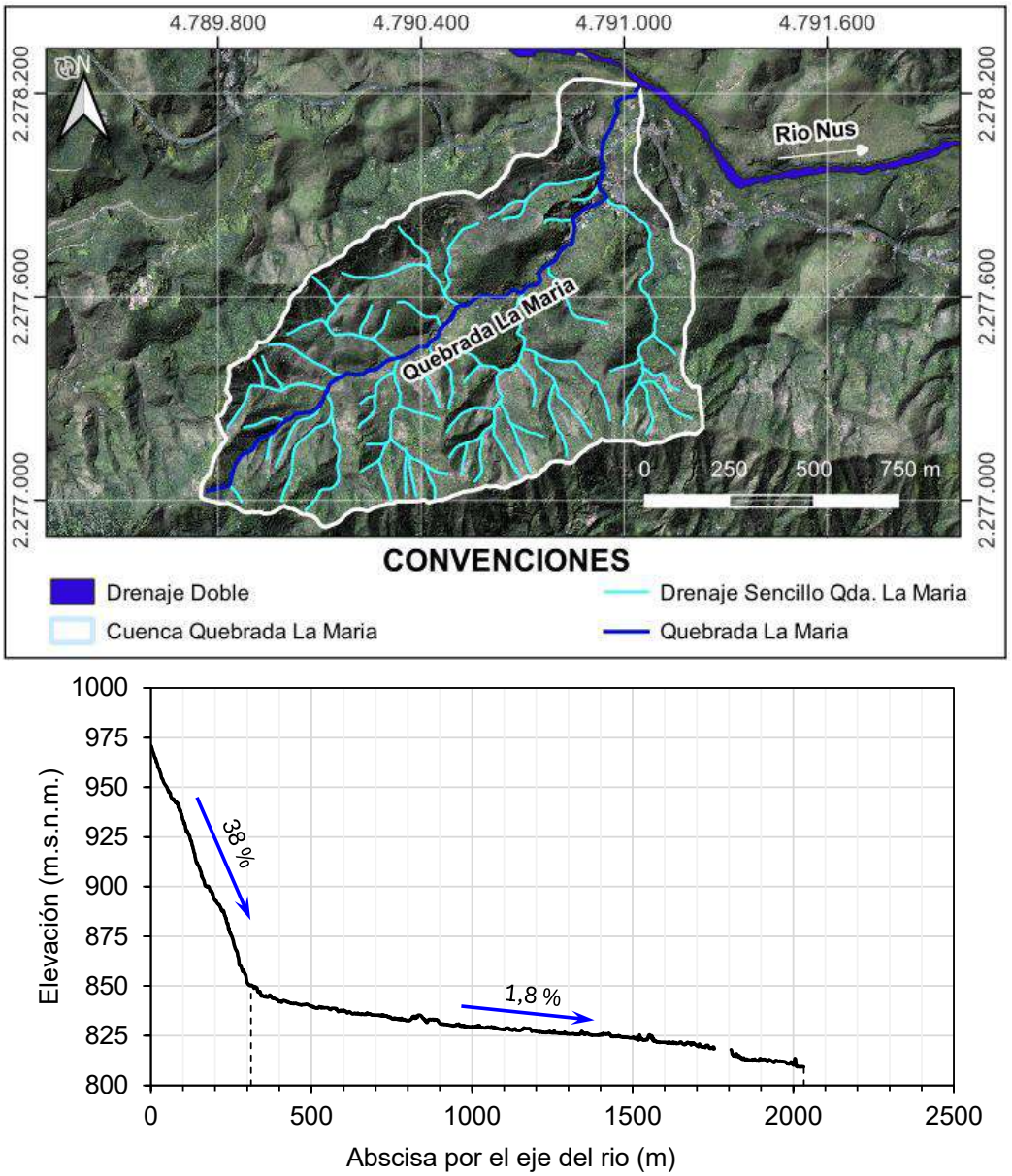


Figura 5.1.5.11 Delimitación de la cuenca de la quebrada La María y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Quebrada El Torito

La hoya hidrográfica de la quebrada El Torito cuenta con un área de 0,27 km^2 (ver Figura 5.1.5.12), una longitud de cauce principal de 1,04 km, un perímetro de 2,50 km y con altitudes que varían entre los 995 msnm. y los 810 msnm.

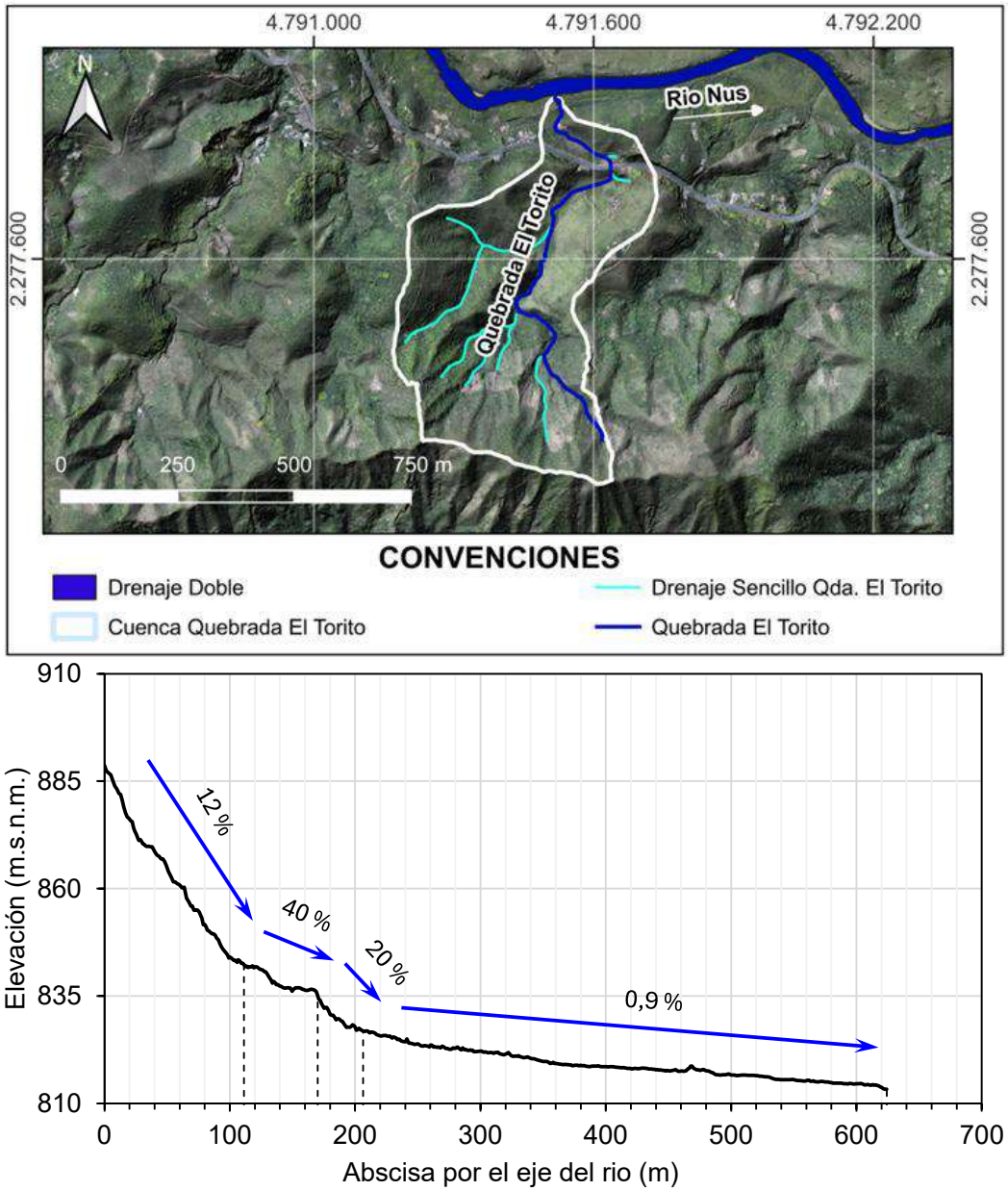


Figura 5.1.5.12 Delimitación de la cuenca de la quebrada El Torito y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Quebrada La Palestina

La cuenca de La Palestina hasta su confluencia con el rio Nus, presenta altitudes que varían entre los 1.305 msnm. aproximadamente en su nacimiento y los 805 msnm. en su punto más bajo; presenta un perímetro de 20,42 km, un área de 15,80 km^2 y una longitud de cauce de 10,40 km. En la Figura 5.1.5.13 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Palestina y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal. y Fotografía 5.1.5.3 se

presentan la cuenca, su perfil y las condiciones encontradas en la salida de campo de febrero de 2025.

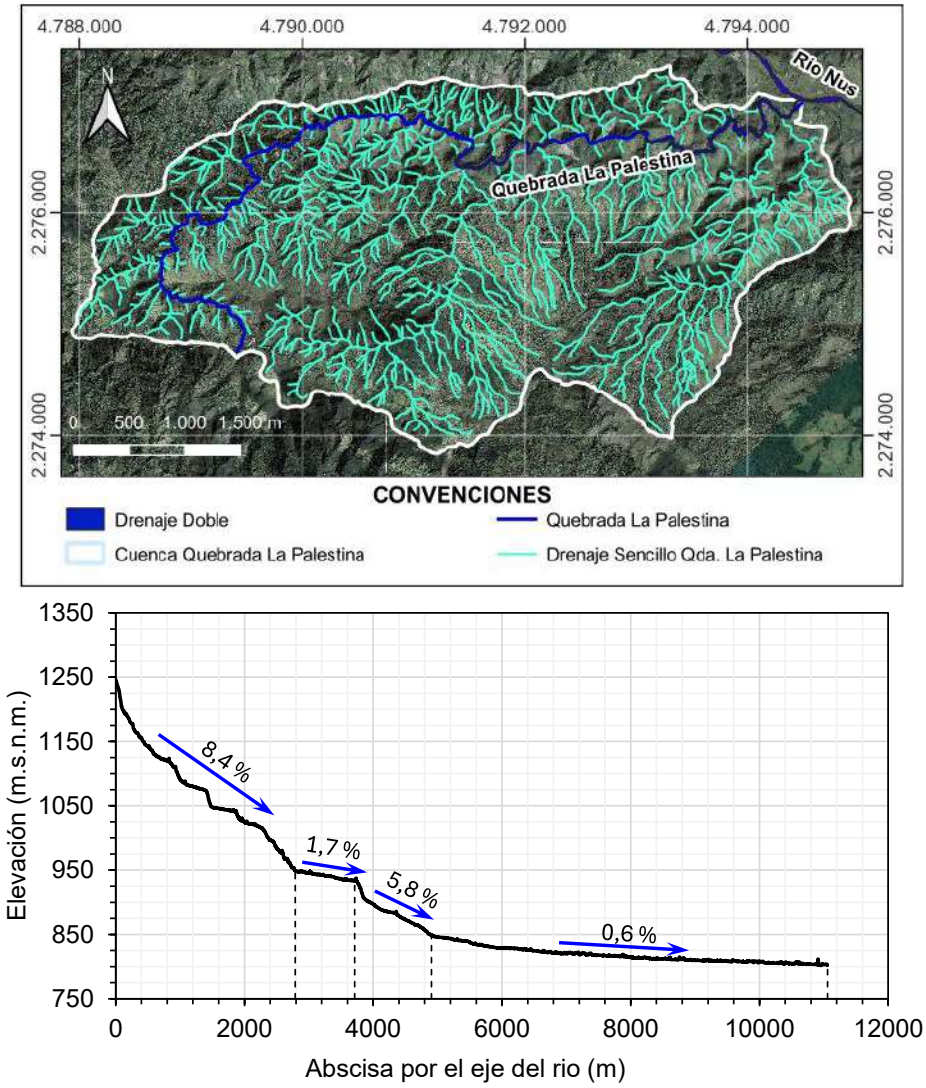


Figura 5.1.5.13 Delimitación de la cuenca de la quebrada La Palestina y valoración del perfil longitudinal sobre su cauce principal.

Fuente: Integral S.A., 2025

Fotografía 5.1.5.3 Registros fotográficos sobre la quebrada la palestina en la zona de caracterización hidrológica del proyecto.

Fuente: GOTTA., 2025

- Cuencas susceptibles de intervención

Considerando que las cuencas susceptibles de intervención -las cuales obedecen a vertimientos, captaciones y obras relacionadas a infraestructura- hacen parte de las hoyas hidrográficas de principal interés, no se considera necesario realizar perfiles topográficos ni caracterización de drenajes, ya que estos fueron presentados con anterioridad. Dicho esto, se ilustra en la Figura 5.1.5.14 la ubicación geoespacial de las mismas.

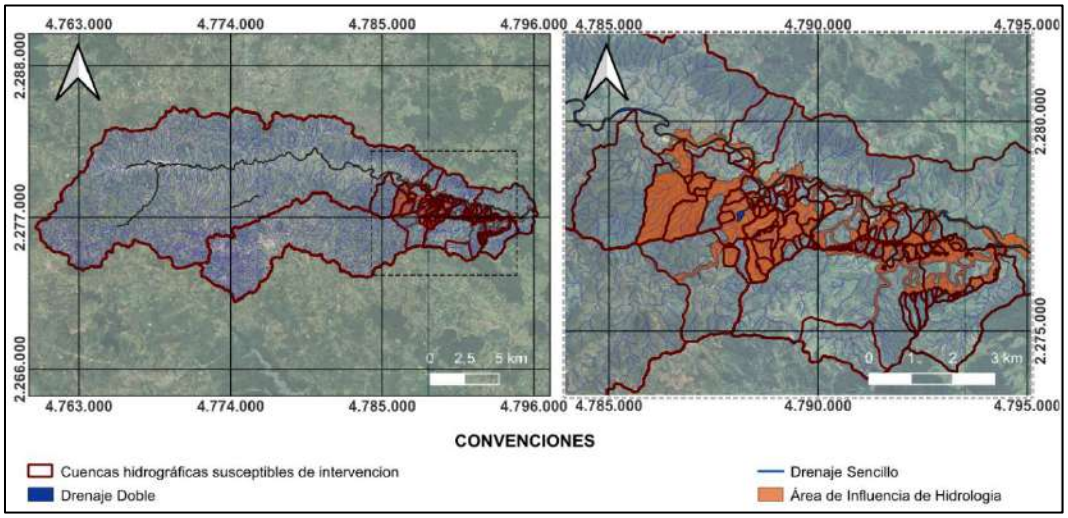


Figura 5.1.5.14 Hoyas susceptibles de intervención.

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Identificación de sistemas lénticos y lóticos

El área de influencia del proyecto se encuentra ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del río Nus, el cual constituye el principal sistema lótico identificado en la zona, debido a su relevancia en términos de longitud y área de drenaje aferente. Los tributarios más representativos de este sistema en el área de influencia son las quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina.

Por otra parte, a partir de la ortofoto asociada a los levantamientos LiDAR de 2020 y los sistemas de drenaje presentados en la Geodatabase asociada al proceso de modificación se identificó un cuerpo léntico antrópico (ver Figura 5.1.5.15) 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 (ver Fotografía 5.1.5.4) este reservorio es destinado para desarrollar actividades ganaderas y fue configurado bajo las siguientes condiciones: longitud máxima de 65,80 m (aprox.), área superficial de 867,10 m^2, y profundidad media de 0,40 m (aprox.). Es importante señalar que este cuerpo de agua cuenta con un canal de descarga encargado de evacuar los excesos de nivel que allí puedan presentarse.

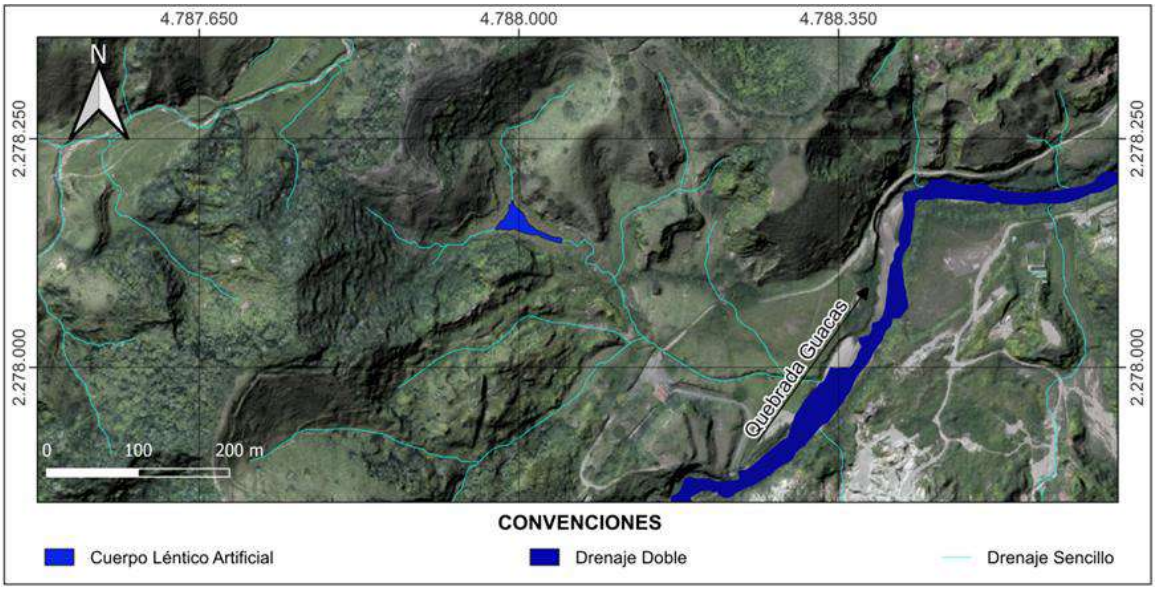


Figura 5.1.5.15 Cuerpo léntico en el área de influencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

Los cuerpos lénticos adicionales dentro de la zona de influencia son pequeñas zonas bajas dentro de la llanura de inundación del río Nus, los cuales de forma natural el río puede llenar con material de arrastre o modificarlos por los fenómenos de erosión depositación que se puedan dentro de las zonas de inundación.

Fotografía 5.1.5.4 Cuerpo léntico en el área de influencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Zonas de recarga

La recarga se refiere a la manera como los acuíferos se recargan o llenan de agua de forma natural por infiltración del agua lluvia que cae sobre ellos, de los ríos o lagos que los atraviesan o limitan y también puede ser de manera artificial producto del excedente de agua empleada en regar cultivos asentados, fugas de redes y abastecimientos o por infiltraciones de embalses y depósitos. Las fuentes de recarga, naturales o artificiales pueden ser clasificadas como recarga directa (proveniente del agua lluvia), recarga indirecta (productos de cauces permanente, estacional y efímeros), flujos laterales (procedentes de otros acuíferos), retornos de riegos, excesos de riegos o las perdidas en los canales de distribución y recarga urbana - producto de fugas de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado - (IDEAM, 2013).

La circulación de los flujos de agua subterránea puede conformar en una cuenca tres tipos de sistemas de flujos: local, intermedio y regional (Toth, 1963). Un sistema local de flujo de agua subterránea tiene su zona de recarga en un alto topográfico y su zona de descarga en un bajo topográfico, y se encuentran localizados de forma cercana el uno del otro (<5 km). Los sistemas de flujo intermedio son aquellos en donde sus áreas de recarga y descarga no ocupan los lugares topográficos más altos y más bajos respectivamente, es posible encontrar otros puntos más altos y más bajos en medio de ellos. Un sistema de flujo regional es aquel cuya área de recarga se encuentra en la divisoria de aguas y su zona de descarga se encuentra en la parte baja de la cuenca (ver Figura 5.1.5.16).

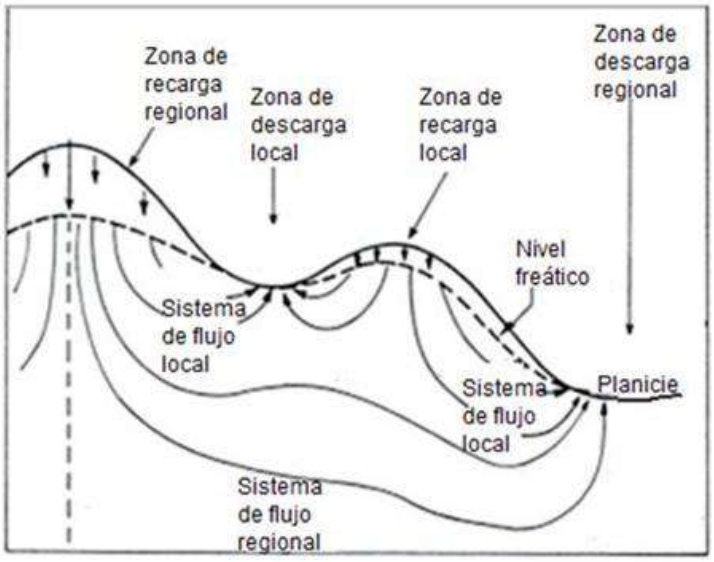


Figura 5.1.5.16 Sistema de flujos de agua subterránea.

Fuente: Toth, 1963

A partir de la configuración de la red de flujo establecida, se estima que los acuíferos se recargan directamente de las lluvias principalmente a través de las zonas planas y de la misma zona de colinas y lomos. Igualmente pueden tener cierta recarga de los cauces mayores como es el caso del Río Nus en relación con la UHG-3 – Depósitos aluviales, cuya recarga es indirecta hacia las aguas subterráneas y viceversa según la época hidrológica. Las zonas de recarga se presentan hacia las colinas altas, en las rocas pertenecientes a las Unidad del Batolito Antioqueño. Los sistemas de flujos en el sector están conformados por flujos locales para el acuífero aluvial, coluvial y flujos intermedios y regionales para el acuitardo de los suelos residuales del Batolito Antioqueño.

La descarga de estos acuíferos libres y no confinados (cubiertos) se hace hacia superficie (aquellos que están por encima del nivel más bajo del terreno) originando los cauces menores.

La fluctuación estacional detectada en algunos piezómetros permite inferir que en periodos de verano las unidades hidrogeológicas con capacidad de almacenar y transmitir agua pueden generar un aporte a los cauces, contribuyendo a los caudales que se presentan en los cauces. En veranos fuertes el descenso del nivel freático puede ser mayor, quedando por debajo del nivel de los cauces.

En la Figura 5.1.5.17 se presenta el mapa de zonas de recarga y descarga y la recarga hídrica anual se presenta en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-REC-CN1.

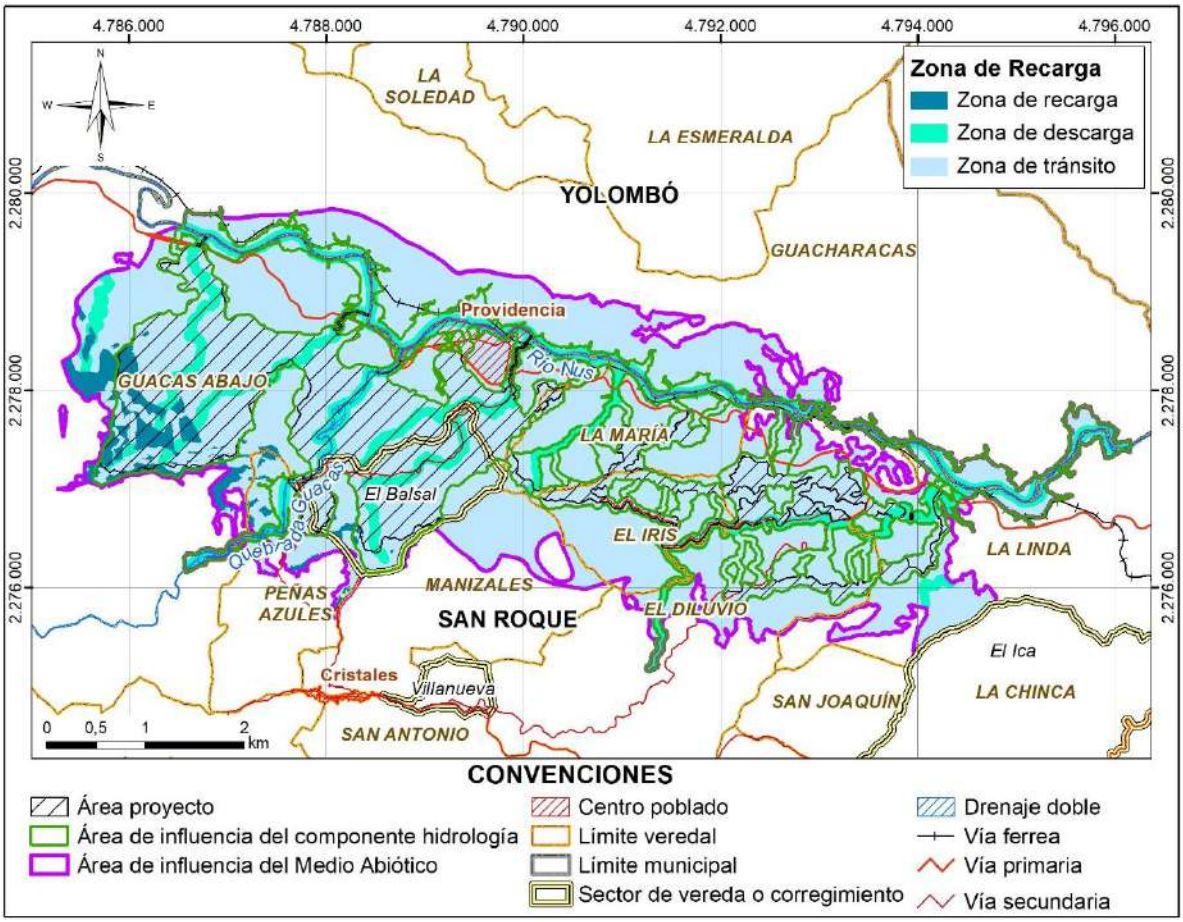


Figura 5.1.5.17 Mapa de zonas de recarga y descarga.

Fuente: Integral S.A., 2025

d. Zonificación Hidrográfica

En esta sección se presenta la superposición del área de influencia del proyecto de Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote con la zonificación de unidades hidrográficas de Colombia escala 1:500.000, de acuerdo con lo establecido por el Instituto de *Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM) en el año 2013. Se debe señalar que la zonificación en Colombia, parte de una división mayor en áreas hidrográficas que se asocian a grandes vertientes, las cuales se dividen a su vez en unidades de menor jerarquía (zonas y subzonas), permitiendo así implementar las directrices de gestión y planificación ambiental del territorio.

En este contexto, el proyecto se encuentra localizado en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca (código 2), en la zona hidrográfica Medio Magdalena (código 23), en la Subzona hidrográfica del río Nare (código 2308), y para la unidad geográfica Nivel I se encuentra ubicada en el Rio Nus (Código 2308-05). Se resalta, que la corporación ambiental regional de Cornare no cuenta con códigos para las unidades hidrográficas de menor nivel.

e. Patrones de drenaje

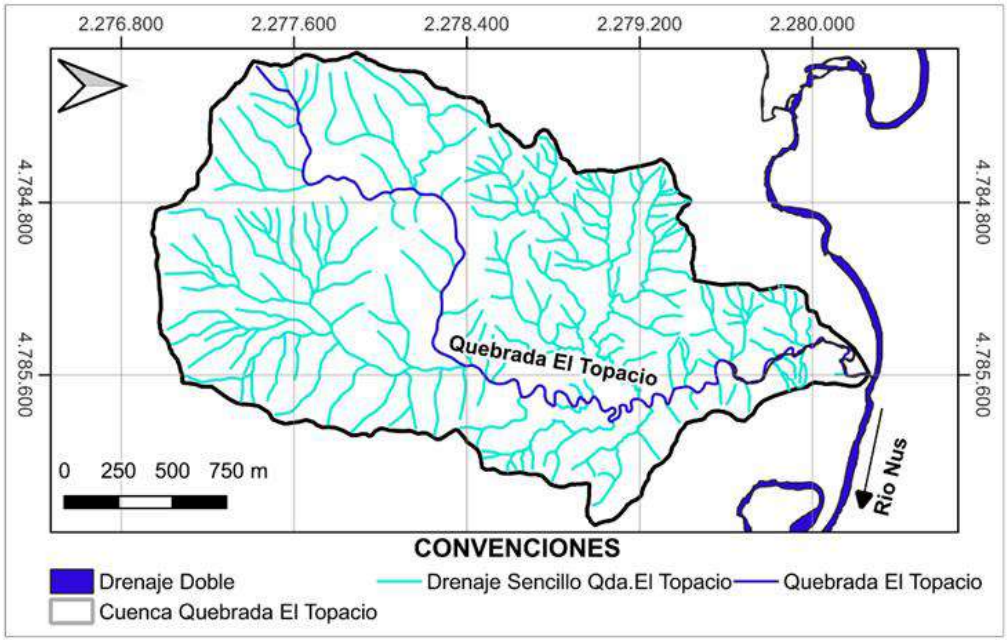
En este numeral se caracteriza el patrón de drenaje asociado a cada hoya hidrográfica que es objeto de análisis. Se destaca que la delimitación de la red de drenaje se realizó utilizando información LIDAR, mientras que en las zonas donde este insumo no estuvo disponible, se empleó cartografía a escala 1:10.000 y 1:25.000 del IGAC.

- Patrón de drenaje dendrítico

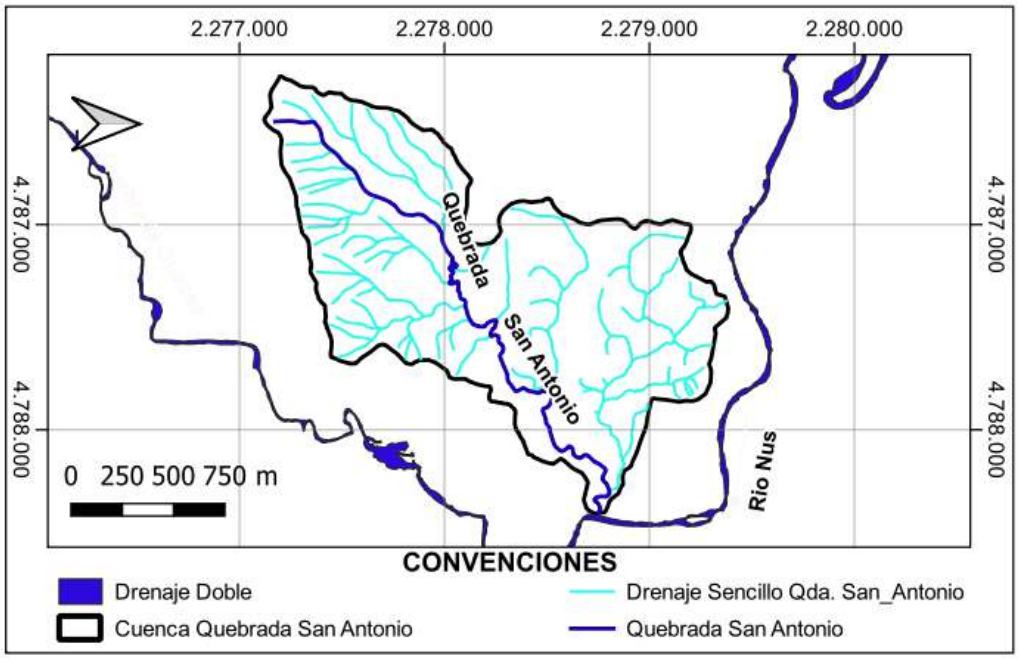
La característica principal de este conjunto de cuencas es la ramificación de sus corrientes tributarias en ángulos predominantemente agudos respecto a su confluencia sobre el cauce principal. Este patrón de drenaje se presenta en zonas con suelos homogéneos o en áreas con depósitos sedimentarios. La dirección del flujo está determinada principalmente por la pendiente del terreno. Bajo este contexto, las cuencas donde se hace presente este patrón son: (1) El Topacio, (2) San Antonio, (3) La María, (4) El Banco, (5) La Colorada y (6) El Torito; las cuales son ilustradas mediante la Figura 5.1.5.18.

En cuencas de mayor extensión, como las quebradas Guacas y La Palestina, no es posible definir un único patrón de drenaje; sin embargo, sí se puede identificar un patrón dominante. Tal como se muestra en la Figura 5.1.5.18, la quebrada (7) Guacas presenta un patrón de drenaje principalmente dendrítico. No obstante, en la parte alta de la cuenca, los tributarios exhiben un patrón similar al paralelo, posiblemente originado por la fuerte pendiente y la presencia de controles estructurales.

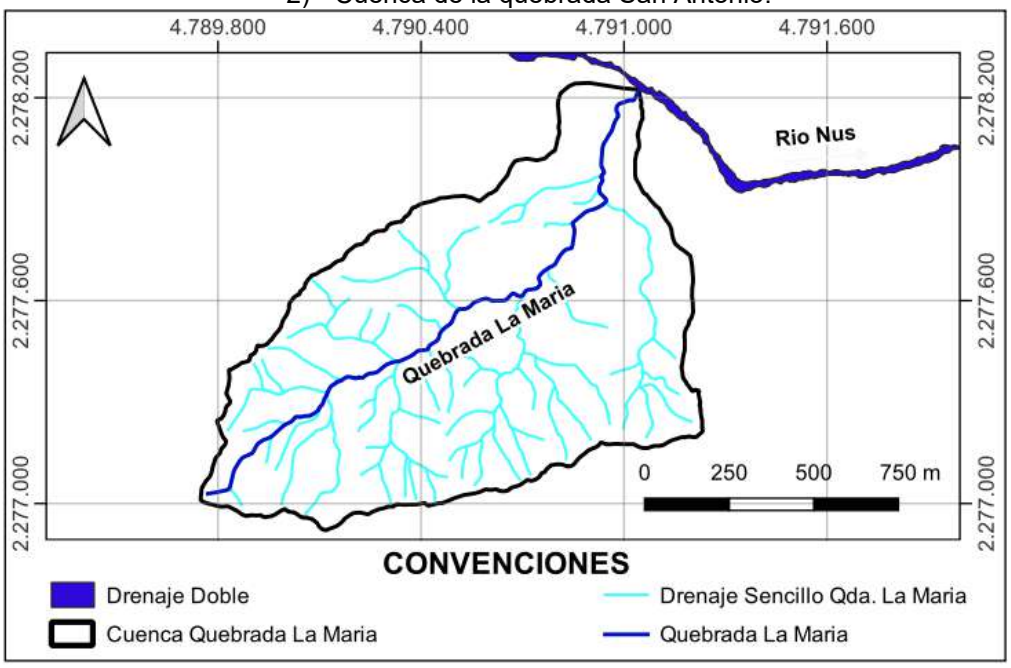
Por su parte, la quebrada (8) La Palestina presenta diversos patrones de drenaje. Su afluente principal muestra un patrón dendrítico, mientras que otro ramal de la cuenca exhibe un patrón radial, ya que la red de tributarios desciende en forma circular. Algunos ramales, especialmente en el costado noroccidental, tienden a fluir de manera paralela; sin embargo, este patrón desaparece a medida que disminuye la pendiente del cauce (ver Figura 5.1.5.18).



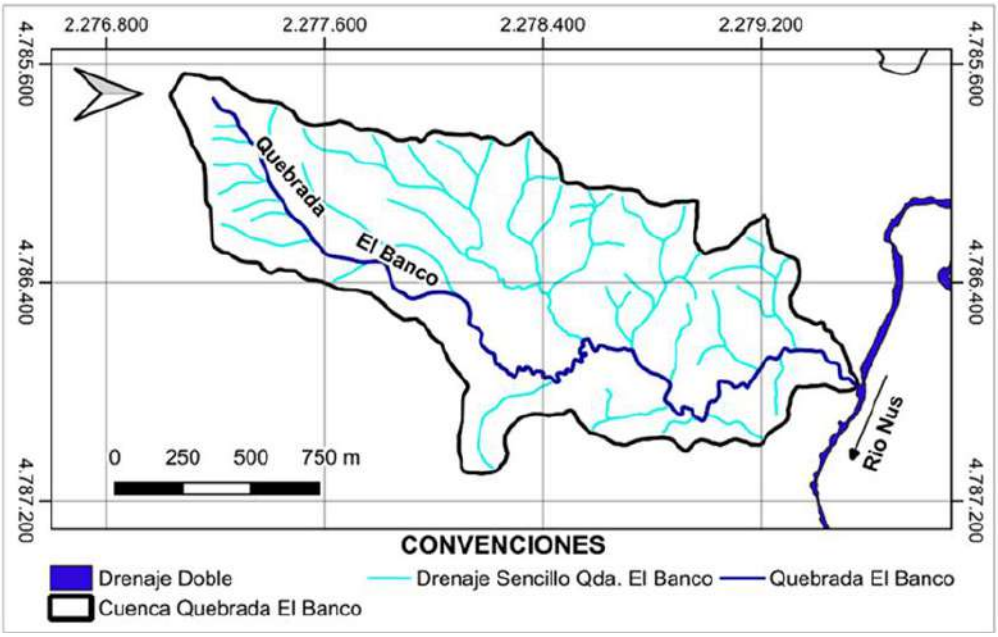
1) Cuenca de la quebrada El Topacio.



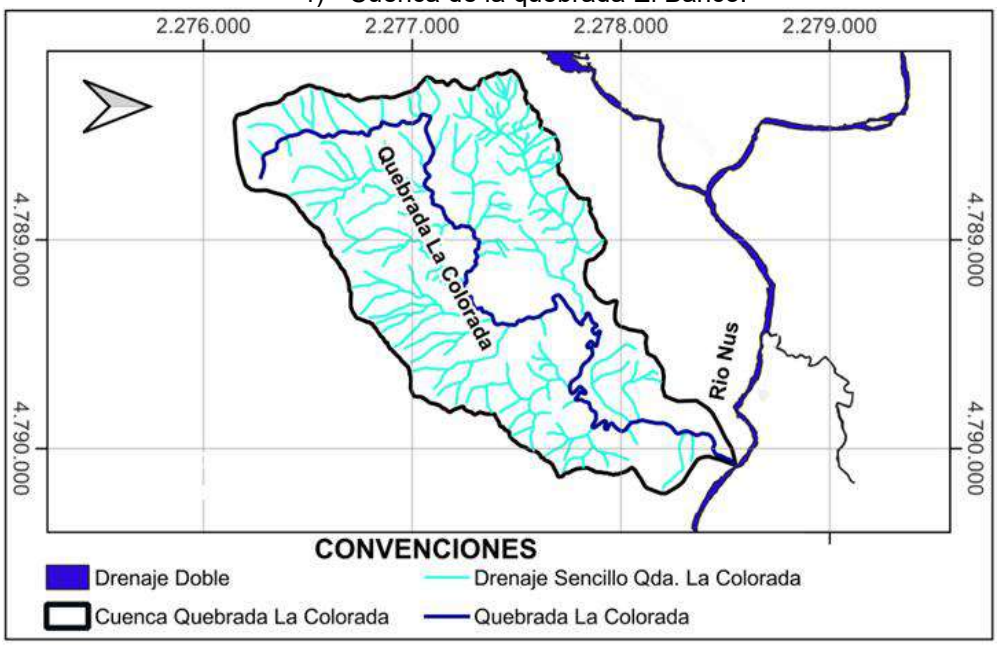
2) Cuenca de la quebrada San Antonio.



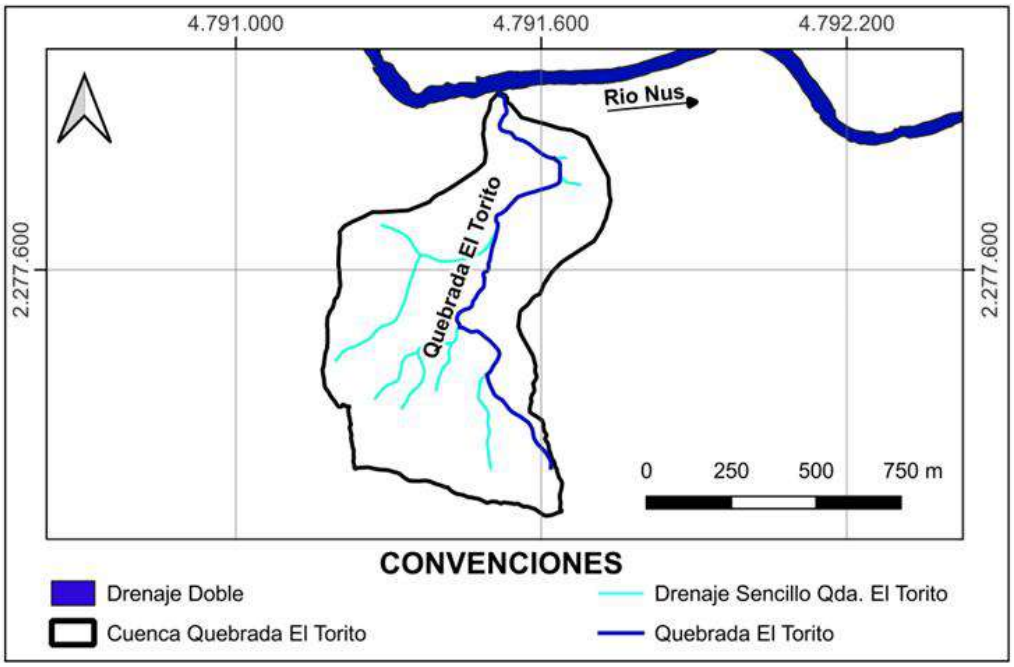
3) Cuenca de la quebrada La María.



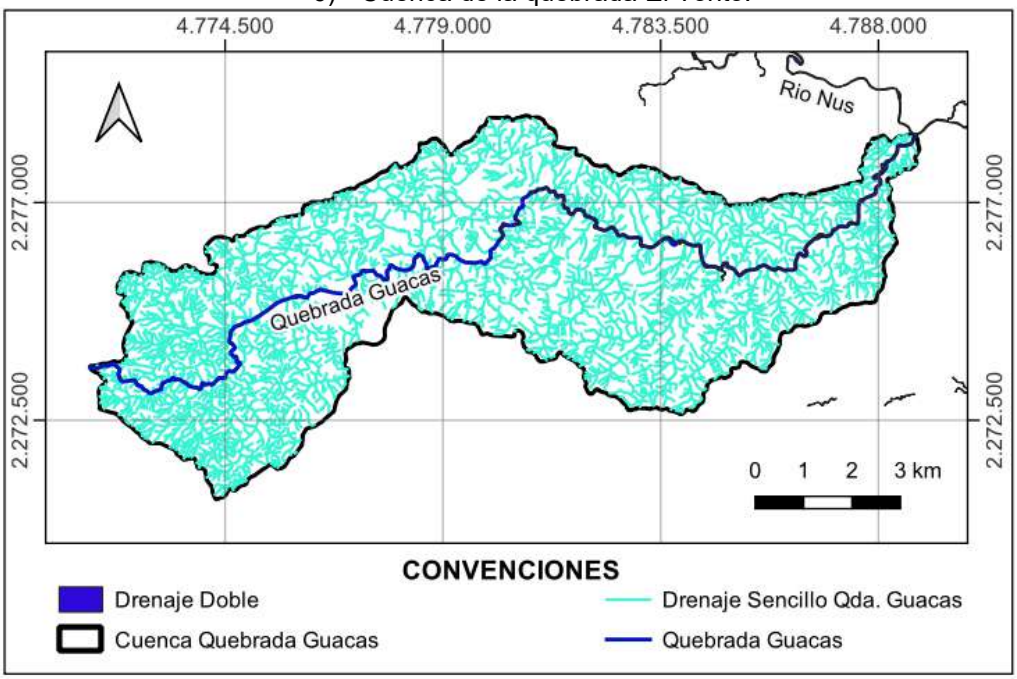
4) Cuenca de la quebrada El Banco.



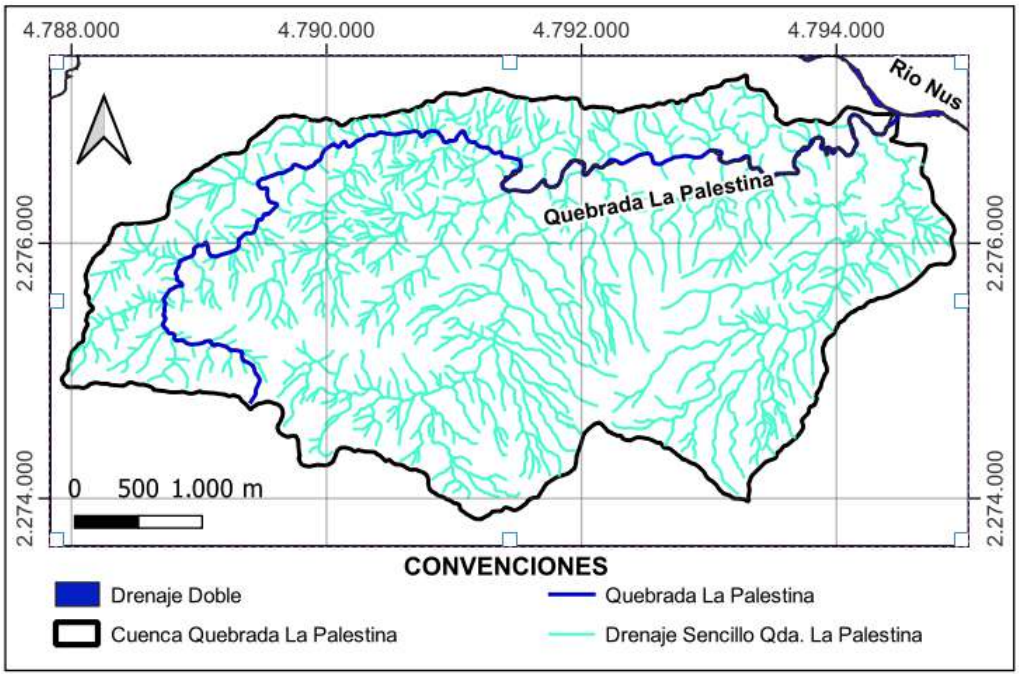
5) Cuenca de la quebrada La Colorada.



6) Cuenca de la quebrada El Torito.



7) Cuenca de la quebrada Guacas.



8) Cuenca de la quebrada La Palestina.

Figura 5.1.5.18 Cuencas con patrón de drenaje dendrítico.

Fuente: Integral S.A., 2025

Respecto a patrón de drenaje generalizado para las cuencas susceptibles de intervención, se evidencia que la gran mayoría de estás se encuentran en la parte baja del área de influencia (cercanías del río Nus), identificándose que el patrón de drenaje es predominantemente dendrítico, hecho que guarda relación con las bajas pendientes que se presentan sobre estos sitios (ver Figura 5.1.5.19).

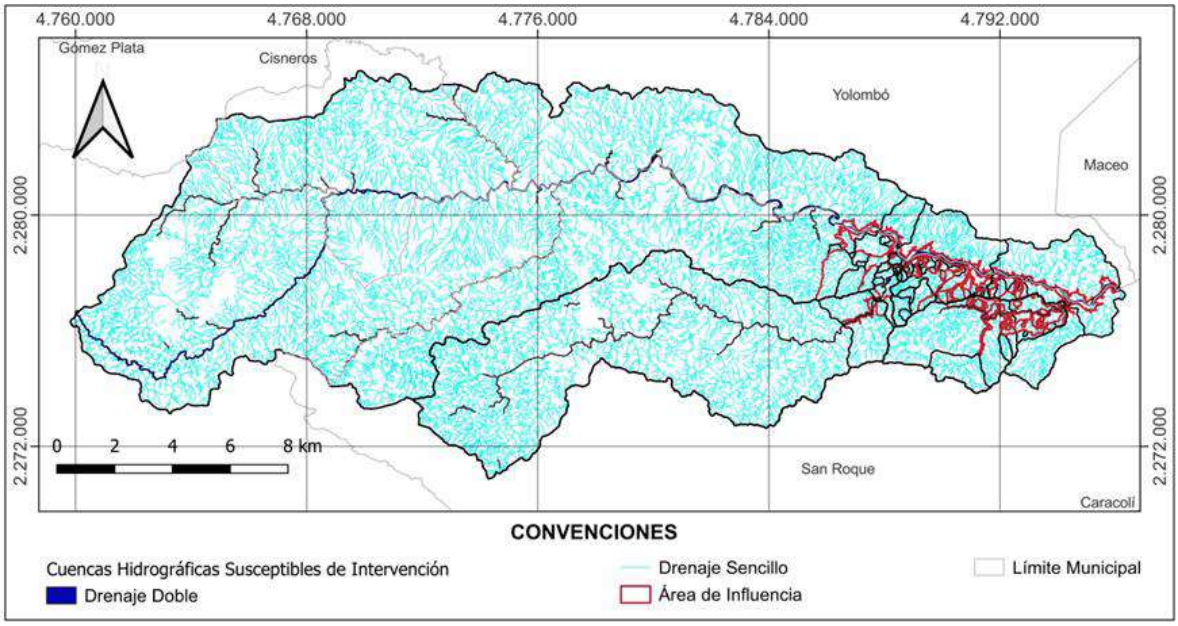


Figura 5.1.5.19 Patrón de drenaje de las cuencas susceptibles a intervención.

Fuente: Integral S.A., 2025

f. Parámetros morfométricos

En este numeral se presentan los parámetros morfométricos de las cuencas de las quebradas El Topacio, El Banco, San Antonio, Guacas, La Colorada, La María, El Torito y La Palestina (Ver Tabla 5.1.5.3). Es de aclarar que para las cuencas de menor tamaño dicha caracterización se consigna en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGÍA_5_01_Par_Cuencas.

Se resalta que el proceso de cálculo de cada variable se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizando los insumos cartográficos y topográficos mencionados en la sección a. Bajo esta claridad, se procede a describir a continuación cada uno de los parámetros que son caracterizados.

- **Área de cuenca:** Consiste en la medida de la superficie en planta de la cuenca contenida en la divisoria de aguas.
- **Perímetro de la cuenca**: Longitud medida sobre los límites de la cuenca.
- **Pendiente media de la cuenca:** Es la pendiente ponderada para toda la cuenca. Se obtiene a partir de la relación entre el producto de la longitud de las curvas de nivel que aparecen en la cuenca por la equidistancia entre las mismas y la superficie total de la cuenca.
- **Longitud axial:** Distancia de una línea recta que va desde el punto de interés en la cuenca hasta el punto más lejano de la divisoria de aguas.
- **Ancho medio de la cuenca:** Es un parámetro promedio que se obtiene a partir de la relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal.

- **Altura media de la cuenca:** Es la elevación promedia referida respecto al nivel al cual se encuentra el punto de interés o de descarga de la cuenca.
- **Cota más alta de la divisoria:** Altura respecto al nivel del mar del punto más alto sobre la divisoria de aguas de la cuenca.
- **Longitud del cauce principal:** Distancia medida a lo largo del curso fluvial de mayor orden, desde la divisoria hasta el punto de interés.
- **Pendiente cauce principal:** Es la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida entre la longitud del cauce principal.
- **Cota sitio de interés o de estudio:** Altura respecto al nivel del mar del sitio objeto de estudio.
- **Índice de compacidad, Kc**: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca. Cuanto más irregular sea la hoya, mayor será su coeficiente de compacidad.

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

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

  - Entre 1 y 1.2: Cauce Rectilíneo.
  - Entre 1.2 y 1.5: Cauce Transicional.
  - Entre 1.5 y 1.7 Cauce Regular.
  - Entre 1.7 y 2.1: Cauce Irregular.
  - Superior a 2.1: Cauce Tortuoso.
- **Factor de forma de Horton, Kf**: El factor de forma es la relación entre el ancho medio y la distancia entre los puntos más distantes de la corriente, o la relación entre el área y la longitud mayor de la cuenca al cuadrado. Las cuencas con Kf bajo son menos propensas a tener lluvias intensas en toda la cuenca, y por ende son menos susceptibles a las crecidas.

- **Forma:** Se determina a partir de la relación entre el ancho medio de la cuenca y el largo máximo de esta. Este indicador pretende parametrizar la cuenca de tal manera que a través de este parámetro se obtenga una aproximación a su forma geométrica.

Tabla 5.1.5.3 Parámetros morfométricos de las cuencas de línea base.

CUENCA	Área de la cuenca	Perímetro de la cuenca	Pendiente de la cuenca	Longitud axial	Ancho medio de la cuenca	Altura media de la cuenca	Longitud cauce principal	Pendiente cauce principal	Cota sitio de interés o de estudio	Cota más alta sobre la divisoria	Coeficiente de compacidad	Factor de forma de Horton	Forma	Índice de sinuosidad	Tipo de drenaje asociado al índice de sinuosidad.	Densidad de drenajes	Densidad de corrientes
	Km²	km	%	km	km	msnm	km	%	msnm	msnm	Adi.	Adi.	"	Adi.	"	Adi.	1/km²
Río Nus (Est. Caramanta	277,60	101,97	2,84%	39,80	5,52	1516,50	50,25	2,56%	803,00	2230,00	1,71	0,11	Oval-oblonga a rectángular-oblonga	1,26	Drenaje transicional	8,73	30,94
Quebrada Topacio	4,06	9,82	8,16%	4,15	0,76	1037,50	5,33	7,50%	820,00	1255,00	1,36	0,14	Oval-redonda a oval oblonga	1,29	Drenaje transicional	11,74	46,56
Quebrada El Banco	1,76	7,46	9,64%	3,13	0,47	1002,50	3,79	6,68%	820,00	1185,00	1,57	0,12	Oval-oblonga a rectángular-oblonga	1,21	Drenaje transicional	8,99	25,52
Quebrada San Antonio	2,24	8,18	8,08%	2,84	0,66	952,50	3,40	6,76%	815,00	1090,00	1,53	0,19	Oval-oblonga a rectángular-oblonga	1,20	Drenaje rectilíneo	9,08	30,42
Quebrada Guacas	64,13	54,59	3,56%	20,70	2,27	1317,50	28,22	3,53%	815,00	1820,00	1,91	0,08	Oval-oblonga a rectángular-oblonga	1,36	Drenaje transicional	8,56	36,66
Quebrada El Balsal	1,36	5,74	10,72%	2,65	0,44	995,00	3,08	9,84%	830,00	1160,00	1,38	0,14	Oval-redonda a oval oblonga	1,16	Drenaje rectilíneo	12,24	47,75

CUENCA	Área de la cuenca	Perímetro de la cuenca	Pendiente de la cuenca	Longitud axial	Ancho medio de la cuenca	Altura media de la cuenca	Longitud cauce principal	Pendiente cauce principal	Cota sitio de interés o de estudio	Cota más alta sobre la divisoria	Coeficiente de compacidad	Factor de forma de Horton	Forma	Índice de sinuosidad	Tipo de drenaje asociado al índice de sinuosidad.	Densidad de drenajes	Densidad de corrientes
	Km²	km	%	km	km	msnm	km	%	msnm	msnm	Adi.	Adi.	"	Adi.	"	Adi.	1/km²
Quebrada La Colorada	2,33	7,80	10,34%	2,74	0,70	987,50	3,34	9,44%	815,00	1160,00	1,43	0,21	Oval-redonda a oval oblonga	1,22	Drenaje transicional	12,70	57,04
Quebrada La María	1,13	4,93	8,66%	1,74	0,58	895,00	1,96	8,15%	810,00	980,00	1,30	0,29	Oval-redonda a oval oblonga	1,13	Drenaje rectilíneo	11,52	53,00
Quebrada Torito	0,27	2,50	17,81%	0,96	0,26	902,50	1,04	12,99%	810,00	995,00	1,34	0,25	Oval-redonda a oval oblonga	1,08	Drenaje rectilíneo	8,58	33,06
Quebrada La Palestina	15,80	20,38	4,81%	7,84	1,52	1055,00	10,40	4,07%	805,00	1305,00	1,44	0,15	Oval-redonda a oval oblonga	1,33	Drenaje transicional	9,65	40,64

Fuente: Integral S.A., 2025

C. Régimen hidrológico y caudales característicos

El análisis del régimen hidrológico y la estimación de los caudales característicos en el área de influencia hidrológica se realizó a partir de los registros históricos de las estaciones hidro-climatológicas que se ubican en las proximidades del Proyecto Minero de Oro a Cielo Abierto Gramalote (ver numeral b). Cabe aclarar que previamente se efectuó un análisis de calidad de las series de caudales y precipitación con el fin de garantizar la consistencia y confiabilidad de la información utilizada, permitiendo así una estimación confiable de los parámetros a valorar.

a. Análisis de calidad de datos

En esta sección se presentan los resultados del análisis de calidad de datos que fue efectuado sobre las series de precipitación y caudal. Es de mencionar que dicho procedimiento se realizó asumiendo la siguiente discretización: (A) En el caso de las precipitaciones, los análisis se aplicaron sobre las observaciones anuales acumuladas y las máximas diarias anuales; y (B) Para los caudales se optó por trabajar con las series correspondientes a los promedios multianuales y los máximos y mínimos instantáneos a escala anual.

Se debe establecer que las valoraciones ejercidas se centran en determinar si las series son estacionarias o si han tenido un cambio en la tendencia que sea estadísticamente relevante, a la vez que buscan identificar los posibles datos anómalos que puedan presentarse (Outliers). Se hace énfasis en que para todas las pruebas se empleó un nivel de significancia correspondiente al 5% ($\alpha = 0,05$), lo que equivale a asumir un intervalo de confianza del 95%.

Otro elemento que debe de ser considerado corresponde al uso del criterio establecido en literal "*vi"* del numeral 3.2 de la "*Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental*" (MinAmbiente, 2013), en la que se recomienda el uso de un valor equivalente al 10% para establecer los lapsos temporales que contienen información completa. En este sentido a nivel anual fueron desechados los años que tenían más de 37 días faltantes [≈10%*365 días]. Es de resaltar que esta pauta se aplicó tanto para la valoración hidrológica como en la evaluación meteorológica de la zona de estudio (ver capítulo 5.1.8.1).

Finalmente se señala que, tomando como base las longitudes de registro efectivas (periodo total de operación de las estaciones afectado por el porcentaje de datos faltantes), se considera que no es necesario aplicar metodologías para el llenado de datos, ya que el conjunto de observaciones excede para todos los casos los 5 años - límite establecido por los *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para Proyectos de Explotación Minera* (ANLA, 2016).

Bajo el anterior contexto, se presentan en los siguientes apartes los resultados que fueron obtenidos luego de aplicar las pruebas no paramétricas sobre los registros de las estaciones IDEAM que se ubican en las cercanías del área de influencia (ver instrumentación seleccionada en Tabla 5.1.5.4).

Tabla 5.1.5.4 Información general de las estaciones de monitoreo cercanas al área de influencia.

Nombre Estación	Tipo	Variable	Elevación (msnm. .)	Periodo de registro		Años de registro	Datos faltantes
				Desde	Hasta		
San Roque	PM	Precipitación	1.435	1.975	2.024	49	1,73%
Gja. Exp el Nus	CP	Precipitación	859	1.972	2.024	53	7,83%
Alejandría	CO	Precipitación	1.712	1.988	2.024	36	0,33%
El Morro	PG	Precipitación	2.210	1.973	1.986	13	0,45%
Guayabito	CO	Precipitación	1.440	1.997	2.024	54	1,79%
Las Violetas	CP	Precipitación	1.016	1.982	2.011	29	3,95%
San Antonio	PM	Precipitación	1.029	1.999	2.024	25	0,46%
Santo Domingo	PG	Precipitación	1.944	1.959	2.024	66	12,96%
Yolombo	PM	Precipitación	1.442	1.975	2.024	49	2,90%
Caramanta	LG	Caudal	670	1.974	2.022	49	8,64%

Fuente: Integral S.A., 2025

I. Prueba de Homogeneidad

Para determinar la calidad de la información registrada por las estaciones IDEAM, fueron realizadas un conjunto de pruebas estadísticas que permiten detectar usando un criterio objetivo, las anomalías presentes en las series de precipitación y caudal (existencia de posibles intervenciones antrópicas o errores de medición). Con este objetivo, se valoró inicialmente la homogeneidad de los registros, buscando así determinar si las observaciones provienen efectivamente de la misma población estadística (World Meteorological Organization -WMO-, 2009). Se aclara que con este fin se utilizó la prueba no paramétrica de Pettitt, el cual busca detectar posibles cambios abruptos en la media de las series analizadas, tomando como base la hipótesis nula (Ho) que postula la inexistencia de cambios sobre este parámetro (Wijngaard, Klein Tank, & Können, 2003).

Como se mencionó al inicio de este numeral, este procedimiento se aplicó a la variable de precipitación utilizando las observaciones acumuladas anuales y las máximas diarias anuales; mientras que para el caudal se trabajó con las observaciones medias diarias anuales, así como con las máximas y mínimas instantáneas a escala anual. En algunos casos fue necesario realizar múltiples iteraciones hasta encontrar una longitud de registro en la que no se presentaran puntos de cambio, obteniendo así los resultados que se presentan desde la Tabla 5.1.5.5 a la Tabla 5.1.5.7. Vale la pena aclarar que el proceso anteriormente descrito se encuentra consignado en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_00_ResCal_Pmax, 5_00_ResCal_Pmed, 5_00_ResCal_Qmax, 5_00_ResCal_Qmed y 5_00_ResCal_Qmin.

Tabla 5.1.5.5 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos medios anuales de precipitación y caudal.

Estación	Variable	Pettitt H_0	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
			Desde	Hasta		
San Roque	Precipitación	Aceptada	1.975	2.023	48	Apta
Gja Exp el Nus	Precipitación	Aceptada	1.995	2.023	28	Apta
Alejandría	Precipitación	Aceptada	1.998	2.023	25	Apta
El Morro	Precipitación	Aceptada	1.973	1.985	12	Apta
Guayabito	Precipitación	Aceptada	1.970	2.023	53	Apta

Estación	Variable	Pettitt H_0	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
			Desde	Hasta		
Las Violetas	Precipitación	Aceptada	1.999	2.010	11	Apta
San Antonio	Precipitación	Aceptada	1.999	2.023	24	Apta
Santo Domingo	Precipitación	Aceptada	1.988	2.023	35	Apta
Yolombo	Precipitación	Aceptada	2.005	2.023	18	Apta
Caramanta	Caudal	Aceptada	1.996	2.022	26	Apta

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.6 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos máximos escala anual (precipitación y caudal).

Estación	Variable	Pettitt H_0	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
			Desde	Hasta		
San Roque	Precipitación	Aceptada	1.995	2.023	28	Apta
Gja Exp el Nus	Precipitación	Aceptada	1.995	2.023	28	Apta
Alejandría	Precipitación	Aceptada	1.998	2.023	25	Apta
El Morro	Precipitación	Aceptada	1.973	1.985	12	Apta
Guayabito	Precipitación	Aceptada	1.970	2.023	53	Apta
Las Violetas	Precipitación	Aceptada	1.999	2.010	11	Apta
San Antonio	Precipitación	Aceptada	2.004	2.023	19	Apta
Santo Domingo	Precipitación	Aceptada	1.988	2.023	35	Apta
Yolombo	Precipitación	Aceptada	2.005	2.023	18	Apta
Caramanta	Caudal	Aceptada	2.015	2.022	7	Apta

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.7 Resultados de la prueba de homogeneidad para los datos mínimos de caudal a escala anual.

Estación	Variable	Pettitt H_0	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
			Desde	Hasta		
Caramanta	Caudal	Aceptada	2.006	2.022	16	Apta

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Prueba de tendencia

En conjunto con el análisis de homogeneidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Esta prueba evaluó sobre las anteriores longitudes de registro (ver resultados del literal anterior) la hipótesis nula (Ho) asociada a la ausencia de dependencia temporal de los datos, es decir, inexistencia de tendencias crecientes o decrecientes. Los hallazgos obtenidos son presentados desde la Tabla 5.1.5.8 hasta la Tabla 5.1.5.10. Es de precisar que el proceso realizado se encuentra consignado en detalle en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_00_ResCal_Pmax, 5_00_ResCal_Pmed, 5_00_ResCal_Qmax, 5_00_ResCal_Qmed y 5_00_ResCal_Qmin.

Tabla 5.1.5.8 Resultados de la prueba de tendencia para los datos medios anuales de precipitación y caudal.

Estación	Variable	Mann-Kendall	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
		H_0	Desde	Hasta		
San Roque	Precipitación	Aceptada	1.975	2.023	48	Apta
Gja Exp el Nus	Precipitación	Aceptada	1.972	2.023	51	Apta
Alejandría	Precipitación	Aceptada	1.998	2.023	25	Apta

Estación	Variable	Mann-Kendall	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
		H_0	Desde	Hasta		
El Morro	Precipitación	Aceptada	1.973	1.985	12	Apta
Guayabito	Precipitación	Aceptada	1.970	2.023	53	Apta
Las Violetas	Precipitación	Aceptada	1.999	2.010	11	Apta
San Antonio	Precipitación	Aceptada	1.999	2.023	24	Apta
Santo Domingo	Precipitación	Aceptada	1.988	2.023	35	Apta
Yolombo	Precipitación	Aceptada	2.005	2.023	18	Apta
Caramanta	Caudal	Aceptada	1.996	2.022	26	Apta

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.9 Resultados de la prueba de tendencia para los datos máximos a escala anual (precipitación y caudal).

Estación	Variable	Mann-Kendall	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
		H_0	Desde	Hasta		
San Roque	Precipitación	Aceptada	1.995	2.023	28	Apta
Gja Exp el Nus	Precipitación	Aceptada	1.995	2.023	28	Apta
Alejandría	Precipitación	Aceptada	1.998	2.023	25	Apta
El Morro	Precipitación	Aceptada	1.973	1.985	12	Apta
Guayabito	Precipitación	Aceptada	1.970	2.023	53	Apta
Las Violetas	Precipitación	Aceptada	1.999	2.010	11	Apta
San Antonio	Precipitación	Aceptada	2.004	2.023	19	Apta
Santo Domingo	Precipitación	Aceptada	1.988	2.023	35	Apta
Yolombo	Precipitación	Aceptada	2.005	2.023	18	Apta
Caramanta	Caudal	Aceptada	2.005	2.022	17	Apta

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.10 Resultados de la prueba de tendencia para los datos mínimos de caudal a escala anual.

Estación	Variable	Mann-Kendall	Periodo valido		Años registro	Calificativo para uso
		H_0	Desde	Hasta		
Caramanta	Caudal	Aceptada	2.006	2.022	16	Apta

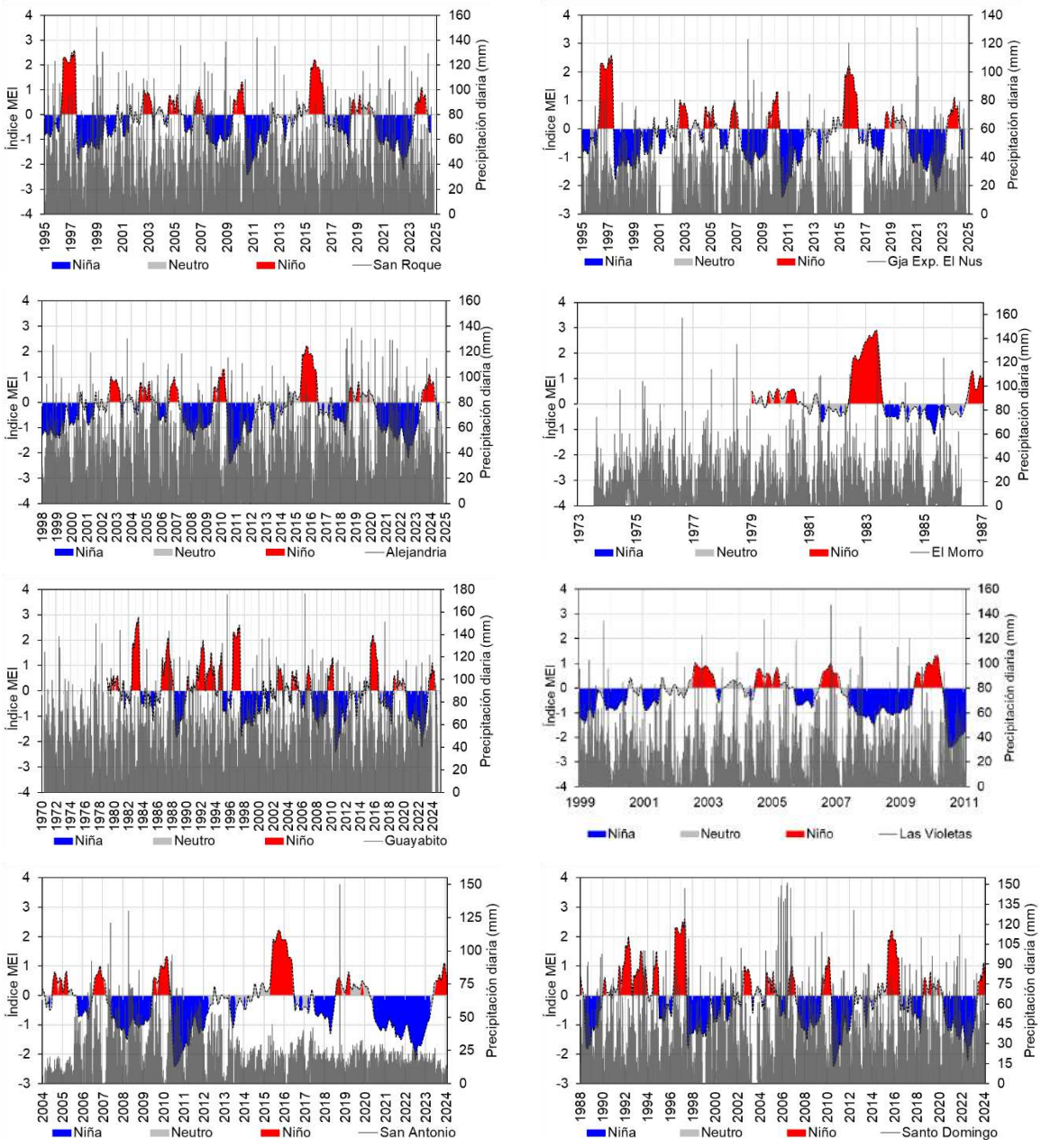
Fuente: Integral S.A., 2025

Es de resaltar que luego de aplicar ambas pruebas (Pettitt y Mann-Kendall), las ventanas de tiempo seleccionadas para cada estación hidrológica resultan adecuadas para efectuar los estimativos de los valores medios, máximos y mínimos (series con extensiones de tiempo que superan los 5 años -ANLA, 2016-).

III. Análisis de valores atípicos (*Outliers*)

Catalogada la idoneidad de los periodos seleccionados, se procede a continuación a evaluar la presencia de posibles Outliers en las series de máximos y mínimos a nivel anual. Es de señalar que, como aproximación inicial, esta valoración fue realizada mediante análisis gráfico (ver Figura 5.1.5.20), donde se contrastaron los registros diarios de precipitación y caudal respecto al Índice Multivariado del fenómeno del Niño (MEI). Cabe destacar que este proceso permite correlacionar y caracterizar la estacionalidad macro-climática con aquellos periodos de tiempo donde fueron identificadas magnitudes extremas

de lluvia o caudal, elemento que posteriormente permitirá justificar la aceptación o rechazo de los resultados obtenidos de las pruebas que son aplicadas para identificar los posibles datos anómalos (ver análisis en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_00_ENSO_Prec y 5_00_ENSO_Q).



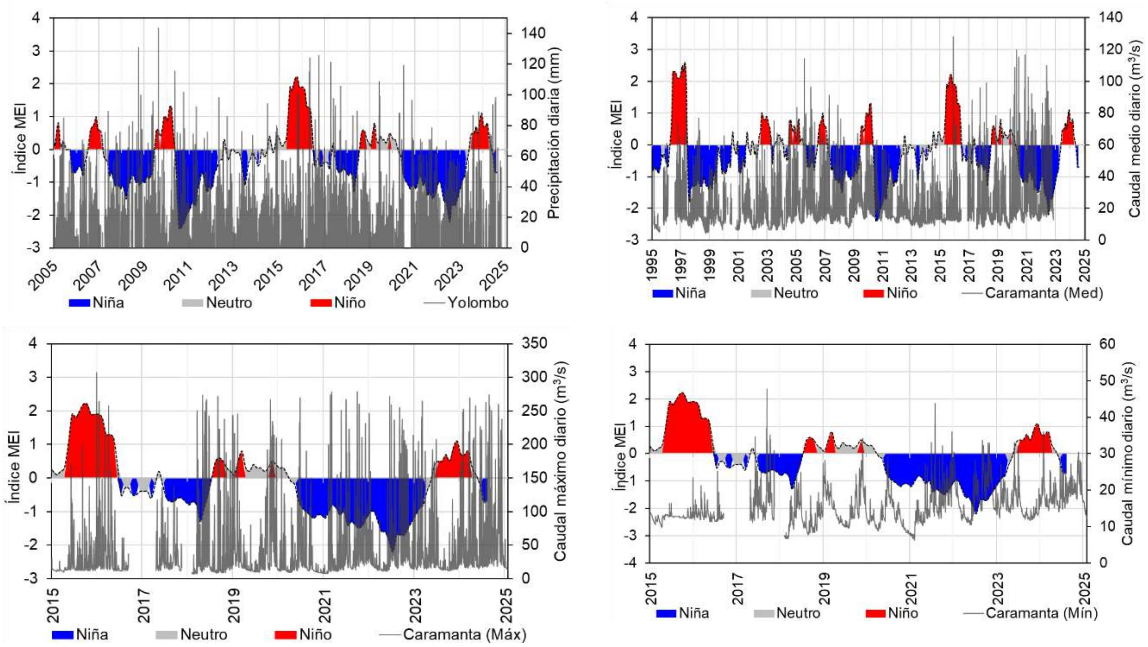
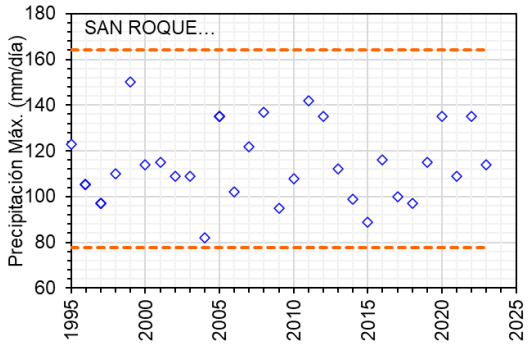


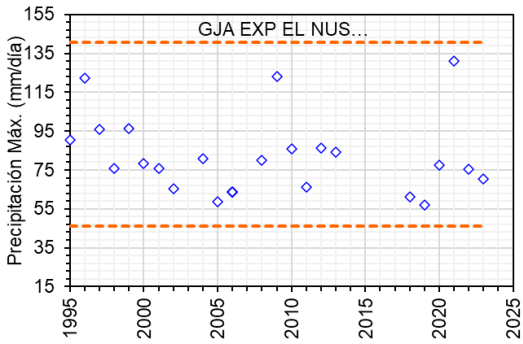
Figura 5.1.5.20 Análisis grafico realizado para verificar la correlación de la precipitación y el caudal con el fenómeno ENSO.

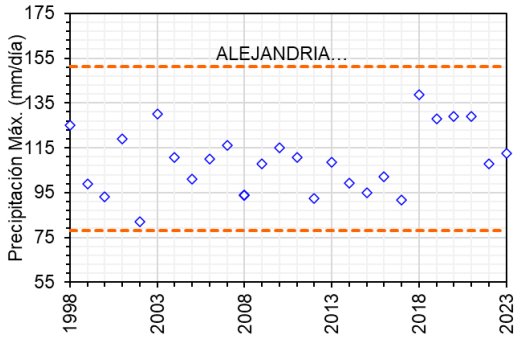
Fuente: Integral S.A., 2025

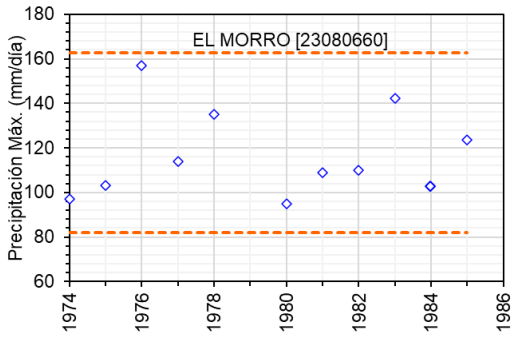
Del anterior ejercicio se observa en términos generales una correspondencia entre las variables de precipitación y caudal respecto a los periodos macro-climáticos identificados como Niño, Niña y Neutro. Bajo este contexto se optó por aplicar la prueba de Grubbs & Beck (World Meteorological Organization -WMO-, 2009) para confirmar o descartar si algunas de estas observaciones se alejaban del comportamiento estadístico reflejado por el instrumento de medición. Es importante destacar que, esta prueba es recomendado por el *Water Resources Council* (1981) y permite detectar tendencias, cambios y datos anómalos que puedan influir en las proyecciones a largo plazo. Los resultados gráficos que fueron obtenidos de esta metodología se presentan en la Figura 5.1.5.21, mientras que en la Tabla 5.1.5.11 se expone el resumen de hallazgos que fue encontrado sobre los registros que fueron analizados (ver ventanas de tiempo en literal anterior).

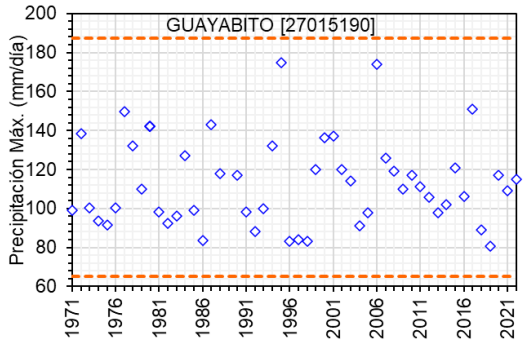
Análogo a lo realizado en los anteriores apartes, se aclara que la totalidad de las valoraciones realizadas en este literal se encuentran consignadas en el anexo de caracterización hidrológica (ver archivos en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_00_ResCal_Out_PP, 5_00_ResCal_Out_Qmax, y 5_00_ResCal_Out_Qmin).

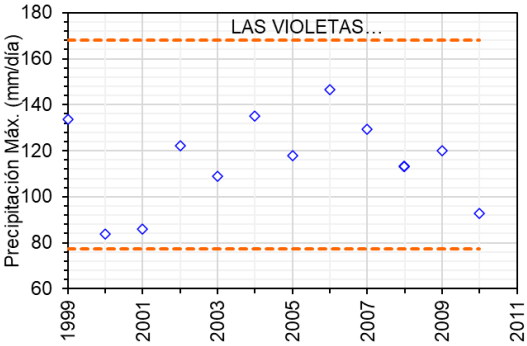

SAN ROQUE...
Precipitación Máx. (mm/día)
180
160
140
120
100
80
60
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025

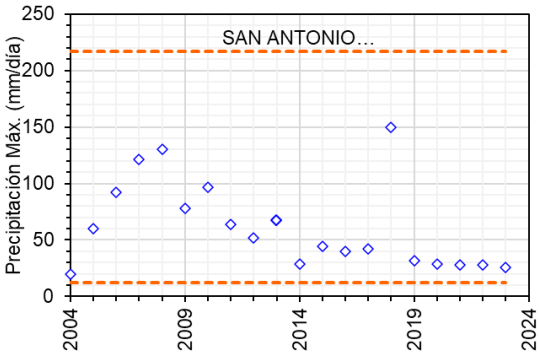

GJA EXP EL NUS...
Precipitación Máx. (mm/día)
155
135
115
95
75
55
35
15
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025

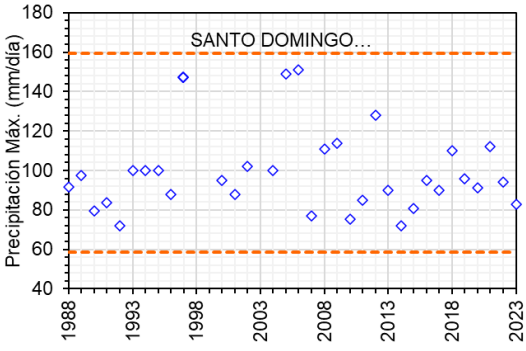

ALEJANDRIA...
Precipitación Máx. (mm/día)
175
155
135
115
95
75
55
1998
2003
2008
2013
2018
2023


EL MORRO [23080660]
Precipitación Máx. (mm/día)
180
160
140
120
100
80
60
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986


GUAYABITO [27015190]
Precipitación Máx. (mm/día)
200
180
160
140
120
100
80
60
1971
1976
1981
1986
1991
1996
2001
2006
2011
2016
2021


LAS VIOLETAS...
Precipitación Máx. (mm/día)
180
160
140
120
100
80
60
1999
2001
2003
2005
2007
2009
2011


SAN ANTONIO...
Precipitación Máx. (mm/día)
250
200
150
100
50
0
2004
2009
2014
2019
2024


SANTO DOMINGO...
Precipitación Máx. (mm/día)
180
160
140
120
100
80
60
40
1988
1993
1998
2003
2008
2013
2018
2023

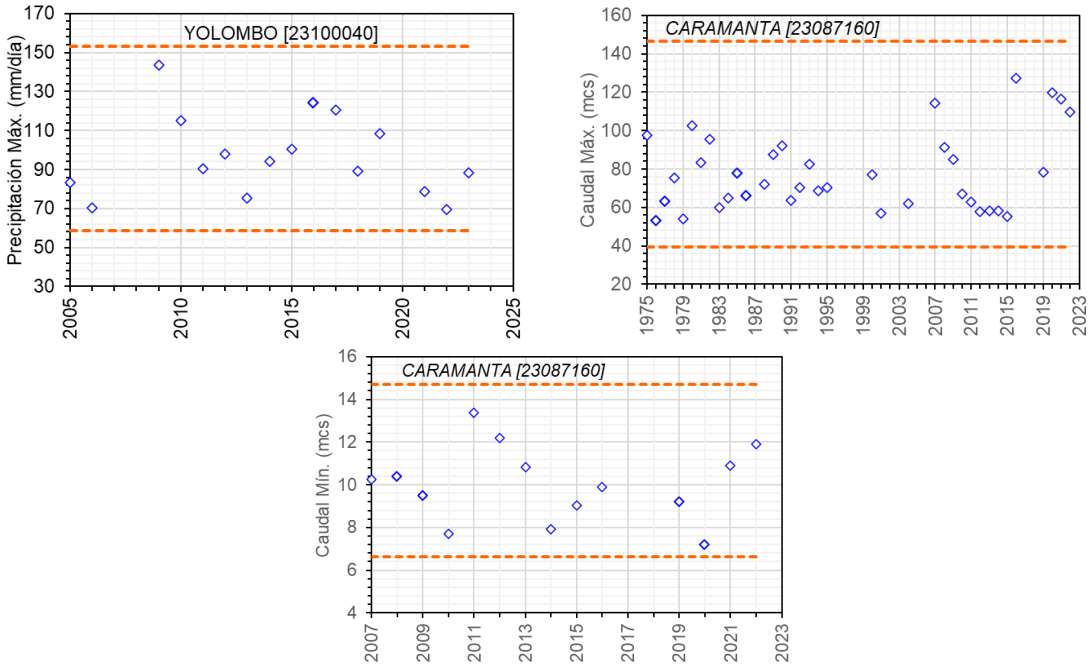


Figura 5.1.5.21 Resultados obtenidos para la prueba estadística de Grubbs-Beck (estaciones cercanas al área de estudio).

Nota: Las líneas punteadas de color naranja denotan las bandas sugeridas por Grubbs & Beck para identificar los posibles *Outliers*, mientras que los puntos azules representan los datos hidrológicos utilizados.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.11 Resultados de la prueba estadística de Grubbs-Beck para la totalidad de las estaciones IDEAM consultadas.

Estación	Variable	Análisis valores máx.		Análisis valores mín.	
		No. eventos descartados	Años	No. eventos descartados	Años
San Roque	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Gja exp el Nus	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Alejandría	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
El Morro	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Guayabito	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Las Violetas	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
San Antonio	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Santo Domingo	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Yolombo	Precipitación	N/A	N/A	N/A	N/A
Caramanta	Caudal	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Integral S.A., 2025

Como se evidencia en la Figura 5.1.5.21 y la Tabla 5.1.5.11, la prueba de Grubbs & Beck arroja como resultado que dentro del grupo de datos seleccionado no se encuentran observaciones que puedan ser clasificadas como *Outliers*, razón por la cual se adoptan las longitudes de tiempo que son presentadas desde la Tabla 5.1.5.8 hasta la Tabla 5.1.5.10 para desarrollar los subsiguientes análisis hidrológicos.

b. Caudales medios

Dado que el río Nus constituye la principal fuente hídrica instrumentada dentro del área de influencia, se presentará inicialmente su caracterización de condiciones medias. Es de precisar que para este proceso se recurrió a los registros históricos de caudales medios diarios de la estación IDEAM *Caramanta [23087160]*, de los cuales, según los análisis de calidad y consistencia se selecciona como periodo de valoración el lapso temporal equivalente a los años 1996-2022 (Ver Figura 5.1.5.22).

Así mismo, considerando que las demás corrientes no disponen de una red de monitoreo activa de caudal (tributarios del río Nus), se opta en este estudio por efectuar el estimativo de sus valores medios a partir de la aplicación de las metodologías de balance hídrico a largo plazo y de transferencia de información, elementos sobre los cuales se ahondara en los siguientes literales.

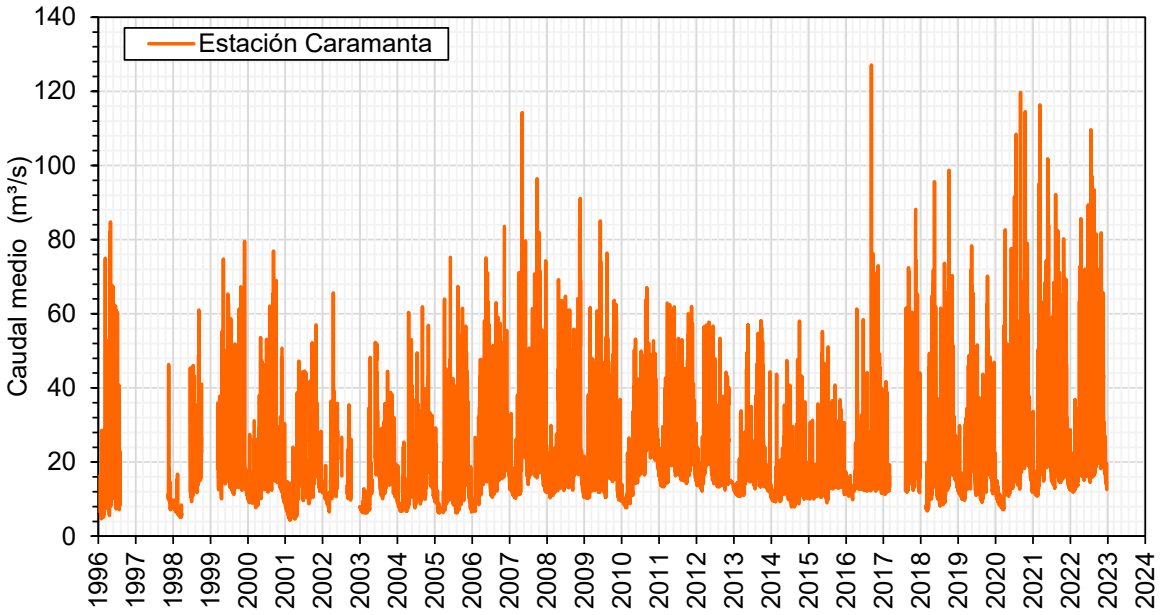


Figura 5.1.5.22 Serie de caudales medios diarios de la estación Caramanta (1996-2022).

Fuente: Integral S.A., 2025

Con base en los anteriores registros se obtienen los caudales medios mensuales que se consignan en la Tabla 5.1.5.12 y la Figura 5.1.5.23, infiriéndose de esta forma que el caudal medio multianual sobre el río Nus a la altura de la estación *Caramanta [23087160]* corresponde a 20,52 m³/s. Se destaca que el proceso de cálculo de estos valores se encuentra detallado en el archivo anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

Tabla 5.1.5.12 Caudales medios mensuales multianuales - Estación Caramanta.

Mes	Caudal (m³/s)
Enero	11,86
Febrero	11,92

Mes	Caudal (m³/s)
Marzo	16,54
Abril	20,13
Mayo	26,19
Junio	22,51
Julio	20,61
Agosto	19,53
Septiembre	23,71
Octubre	25,14
Noviembre	25,51
Diciembre	16,88
Medio Multianual	20,52

Fuente: Integral S.A., 2025

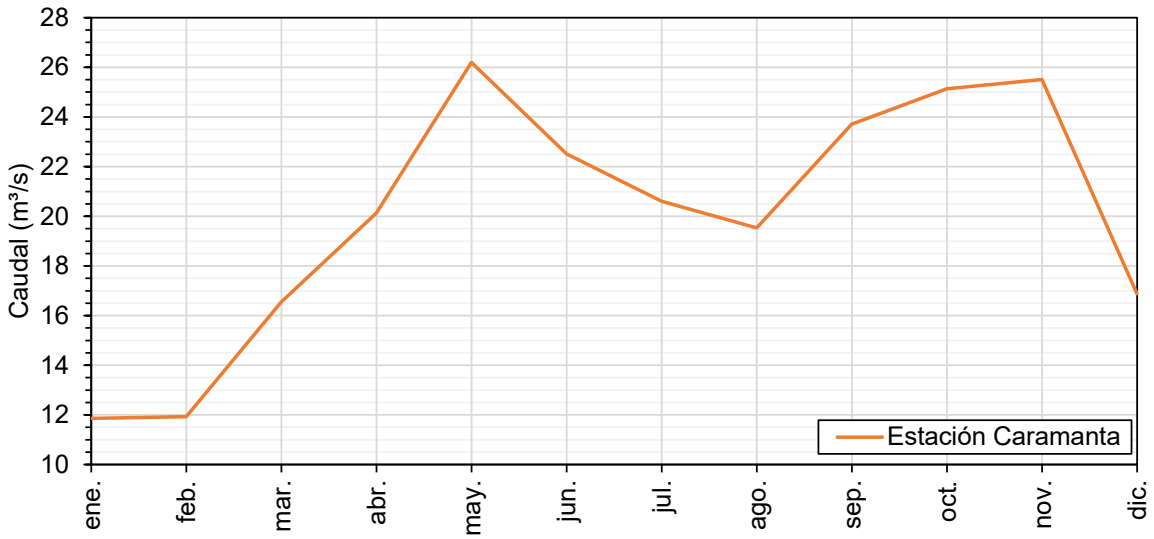


Figura 5.1.5.23 Caudales medios mensuales multianuales estación Caramanta [23087160].

Fuente: Integral S.A., 2025

Como complemento a la anterior parametrización, se realizó un análisis de variabilidad estadística a través de gráficos de cajas y bigotes (ver Figura 5.1.5.24 y Figura 5.1.5.25), en los cuales se observa el comportamiento de los datos año a año y mes a mes, permitiendo así identificar las épocas en las que se han materializado eventos extremos (máximos y mínimos) asociados a fenómenos climáticos.

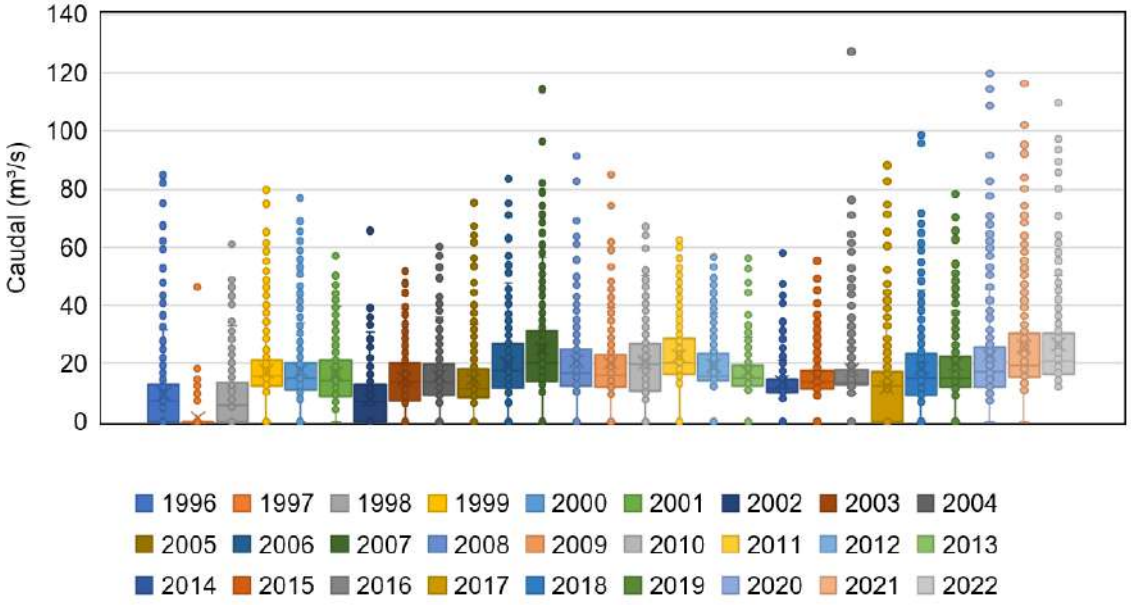


Figura 5.1.5.24 Grafico de Cajas del caudal medio por año.

Fuente: Integral S.A., 2025

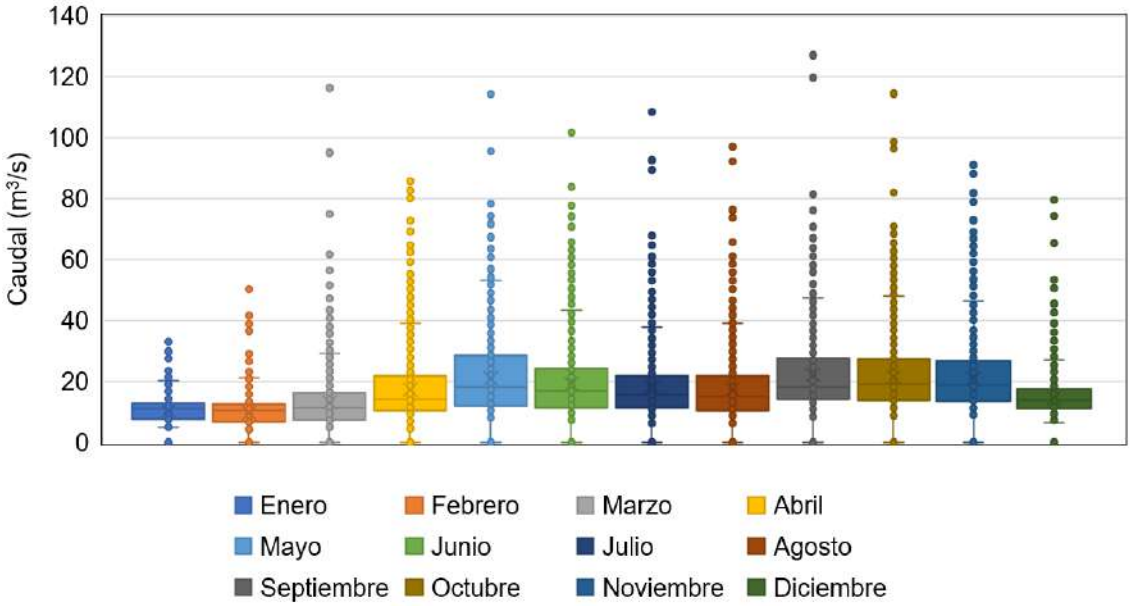


Figura 5.1.5.25 Gráfico de Cajas del caudal medio a escala mensual multianual.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Curvas de duración sobre el río Nus

De forma adicional, a partir de los registros de caudal presentados en la Figura 5.1.5.22 se elaboró la curva de duración en términos de la probabilidad de excedencia (Ver Figura 5.1.5.26), para la cual tomando como referencia el caudal medio, fue valorada su respectiva

tendencia adimensionalizada (ver Figura 5.1.5.27). Este último insumo se utiliza para el cálculo de los caudales mínimos y caudales ambientales de las cuencas no instrumentalizadas (tributarios del río Nus).

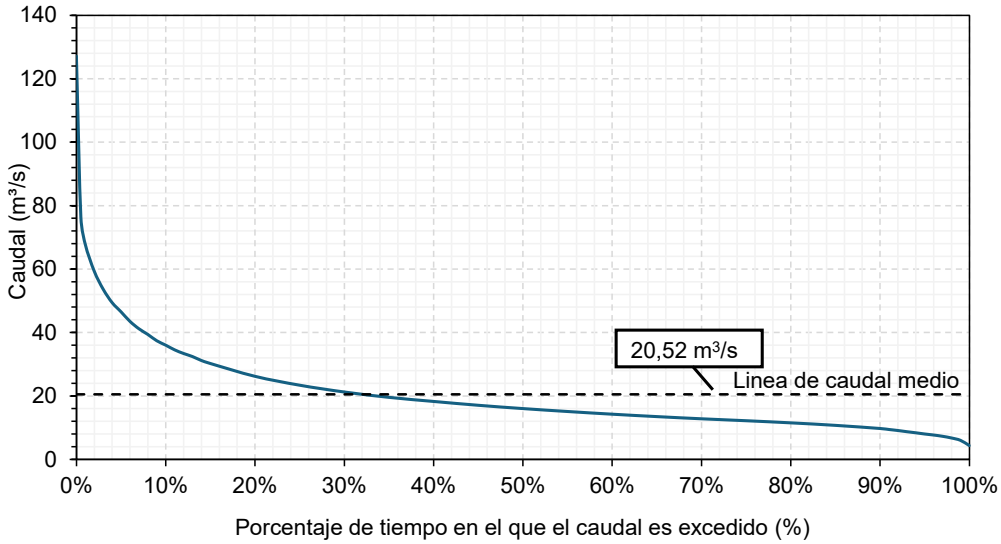


Figura 5.1.5.26 Curva de duración de caudales en la estación Caramanta [23087160].

Fuente: Integral S.A., 2025

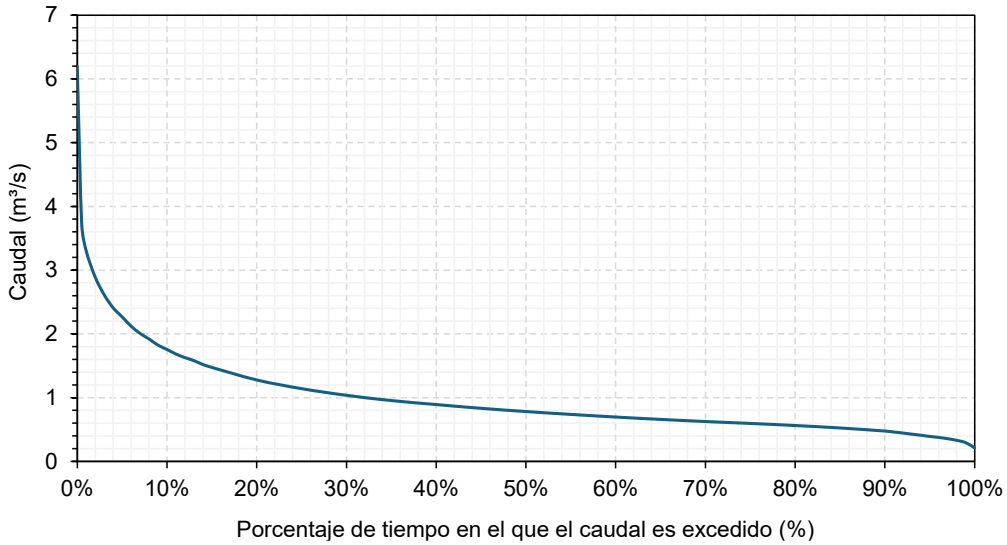


Figura 5.1.5.27 Curva de duración adimensionalizada en la estación Caramanta [23087160].

Fuente: Integral S.A., 2025

I. Método de balance hídrico a largo plazo para el estimativo de caudales medios sobre los tributarios del río Nus

Esta metodología es aplicada sobre las cuencas no instrumentalizadas presentes sobre el área de caracterización hidrológica del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Es de resaltar que este esquema utiliza como insumos base el valor medio anual distribuido espacialmente de: (1) temperatura, (2) precipitación, (3) evapotranspiración potencial -ETP-, y (4) evapotranspiración real -ETR-.

De esta forma, el balance hídrico a largo plazo permite calcular el caudal medio anual como el producto del área de la misma, por la diferencia entre la precipitación y la ETR (Poveda, et al., 2007). Este método ignora la capacidad de almacenamiento de la cuenca, puesto que es un estimativo indirecto, pero es un indicativo de la magnitud del caudal medio en cada una de las hoyas hidrográficas contempladas para el análisis.

La variación espacial de la precipitación, temperatura y evapotranspiración real se presentan en los mapas I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-PREC, I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-PP-TEM, I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-ETR-BUD, I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-ETR-TUR y I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-ETP-CEN

i. Distribución espacial de la temperatura

Para la caracterización de este parámetro sobre la zona de estudio se recurrió a las estaciones meteorológicas IDEAM, mientras que para corroborar sus tendencias se utilizó la instrumentación perteneciente a la red de monitoreo de Gramalote (ver características en el capítulo 5.1.8.1 meteorología). Es de precisar que mediante las series de tiempo (extraídas de las estaciones antes citadas), fueron valoradas para el área de interés las temperaturas máximas, medias y mínimas a escala diaria, mensual y anual, así como los ciclos medios interanuales asociados a los puntos de monitoreo (ver Tabla 5.1.5.13 , Tabla 5.1.5.17).

Tabla 5.1.5.13 Temperatura máxima, media y mínima diaria para las estaciones analizadas

Temperatura Máxima diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	34,2	36,0	35,2	34,2	35,0	35,0	32,8	33,2	32,4	32,2	33,0	38,4
Alejandría	28,6	28,6	28,6	28,4	28,6	28,8	28,4	28,8	28,0	28,0	27,4	27,0
Guayabito	32,4	34,0	35,6	33,0	34,2	34,0	33,0	33,4	34,0	32,0	32,6	32,6
Providencia	31,7	33,2	34,2	32,4	32,1	31,7	33,3	33,9	32,1	31,0	31,0	29,7
Cristales	28,7	30,5	31,3	30,1	30,0	29,8	30,1	29,8	29,5	28,5	28,5	28,0
Temperatura Media diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	23,2	23,4	23,6	23,9	23,7	23,8	23,4	23,6	23,4	23,5	23,1	23,1
Alejandría	19,8	19,8	19,9	20,2	20,4	20,2	20,0	20,1	20,0	19,8	19,7	19,6
Guayabito	21,5	21,9	22,0	22,1	22,1	22,0	22,1	22,2	21,9	21,5	21,2	21,5
Providencia	22,6	23,5	23,9	23,6	23,8	23,5	23,7	23,6	23,6	23,2	22,9	23,0
Cristales	20,7	21,6	21,8	21,6	22,1	21,5	22,1	22,0	22,6	21,1	21,0	21,0
Temperatura Mínima diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	12,0	11,6	15,0	15,0	15,0	11,2	11,0	11,2	13,2	12,4	13,0	10,0
Alejandría	11,0	10,2	11,4	12,0	11,2	10,4	9,6	11,8	10,0	12,4	12,0	11,0
Guayabito	12,8	11,6	15,0	15,0	15,0	11,2	11,0	11,2	13,2	12,4	13,0	10,0
Providencia	15,9	15,1	16,1	18,0	18,2	16,4	17,0	16,6	17,6	18,6	17,7	15,7
Cristales	16,1	16,4	16,4	16,2	16,1	15,9	16,1	16,2	16,4	16,5	16,5	15,5

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.14 Ciclos medios mensuales de temperatura para cada una de las estaciones analizadas

Temperatura Máxima diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	30,8	31,2	31,0	30,8	30,3	30,9	30,8	31,0	30,5	30,2	29,4	29,7
Alejandría	26,3	26,5	26,8	26,6	26,9	26,7	26,7	26,7	26,6	26,3	25,8	25,9
Guayabito	29,3	34,0	35,6	33,0	34,2	34,0	33,0	33,4	34,0	32,0	32,6	32,6
Providencia	31,2	31,7	32,1	31,3	31,4	30,7	31,5	32,2	30,8	30,6	29,9	29,7
Cristales	28,4	29,6	29,7	29,1	29,6	29,3	29,7	29,3	29,5	28,4	28,1	27,7
Temperatura Media diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	23,2	23,4	23,6	23,9	23,7	23,8	23,4	23,6	23,4	23,5	23,1	23,1
Alejandría	19,8	19,8	19,9	20,2	20,4	20,2	20,0	20,1	20,0	19,8	19,7	19,6
Guayabito	21,5	21,9	22,0	22,1	22,1	22,0	22,1	22,2	21,9	21,5	21,2	21,5
Providencia	22,6	23,5	23,9	23,6	23,8	23,5	23,7	23,6	23,6	23,2	22,9	23,0
Cristales	20,7	21,6	21,8	21,6	22,1	21,5	22,1	22,0	22,6	21,1	21,0	21,0
Temperatura Mínima diaria												
Estación	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Gja Exp. Nus	15,6	16,1	16,8	17,1	17,5	16,6	16,4	16,1	16,8	17,1	17,2	16,2
Alejandría	12,6	12,5	13,2	13,7	14,0	13,5	13,1	13,3	13,6	13,7	13,5	13,0
Guayabito	14,2	14,4	14,5	14,8	14,9	14,9	14,6	14,6	14,7	14,8	14,7	14,4
Providencia	16,1	16,1	16,2	18,4	18,5	16,9	17,6	17,6	18,1	18,8	18,2	16,2
Cristales	16,3	16,7	17,2	17,2	17,1	16,9	17,1	16,6	16,4	16,8	17,0	15,7

Nota: Para los análisis realizados solo se tomaron aquellos meses que son considerados como “completos”, es decir, aquellos periodos que poseían un porcentaje de datos faltantes inferior al 10% (3 días).

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.15 Promedio de la temperatura máxima, media y mínima a escala anual para cada una de las estaciones analizadas

Temperatura	Gja Exp. El Nus	Alejandría	Guayabito	Providencia	Cristales
Máxima	32,2	27,4	31,6	32,8	29,7
Media	23,5	19,9	21,8	23,3	21,4
Mínima	13,0	9,6	11,0	15,1	15,9

Fuente: Integral S.A., 2025

Al analizar los datos anteriormente presentados se logra observar un comportamiento térmico estable en lo referente a su variabilidad media interanual, hecho que a priori imposibilita la identificación de los periodos cálidos y húmedos que se relacionan con los veranos e inviernos dentro del área de estudio.

En este sentido al valorar el comportamiento exhibido por las estaciones Granja Experimental El Nus [23085080], Alejandría [23085030] y Guayabito [27015190]; se observa que sus temperaturas promedio mensuales presentan variaciones que se encuentran por debajo de 1°C. Este fenómeno puede ser atribuido a la poca oscilación que manifiesta la radiación solar sobre la zona de caracterización, la nubosidad y las coberturas vegetales existentes sobre el sector. Bajo el anterior contexto se logra identificar que la temperatura media multianual puede oscilar sobre los anteriores puntos de monitoreo entre

los 19,9°C y los 23,5, llegando a alcanzar valores extremos intradiarios que probablemente se encuentren en el rango de los 10°C y los 38°C

Respecto a la distribución espacial de esta variable, debe aclararse que fueron retomados y utilizados los valores medios mensuales y multianuales Con base en estos datos se aplicó el método de interpolación geoespacial conocido como “Kriging Universal”, lo que permitió generar los rásters e isolíneas de temperatura que son ilustrados en la Figura 5.1.5.28 y Figura 5.1.5.29. Este procedimiento se realizó en el software SAGA GIS v9.3, empleando como parámetro predictor la cartografía base en escala 1:25.000 disponible para la zona de estudio, junto con un ajuste del tipo lineal para correlacionar ambas variables.

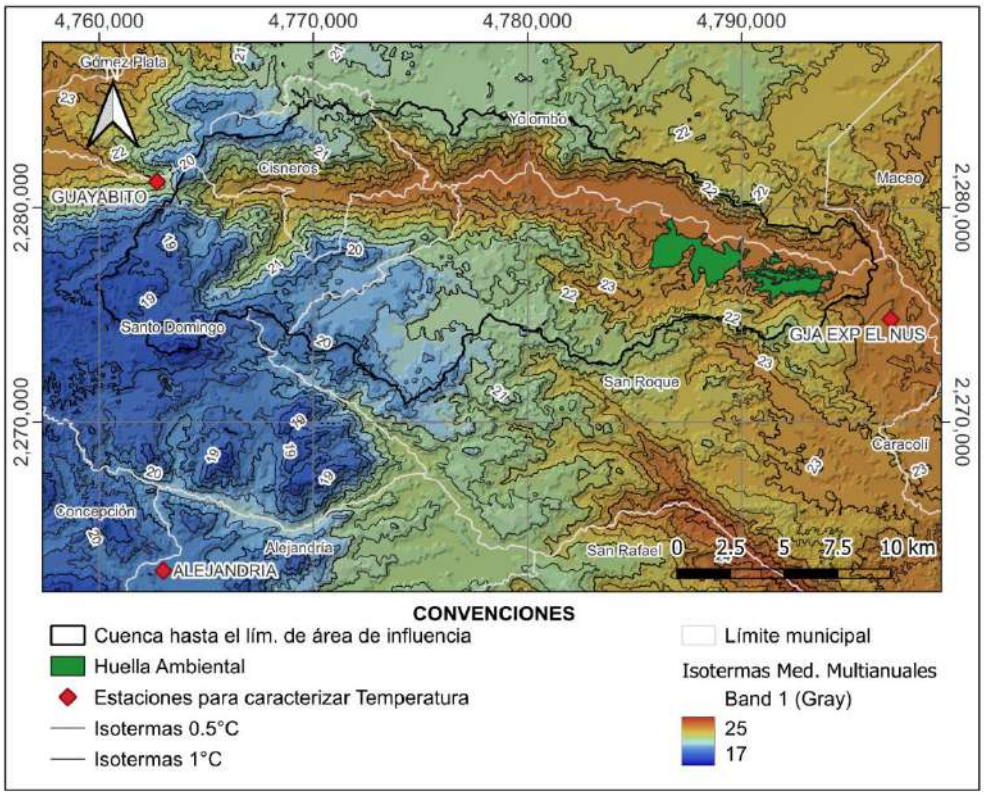
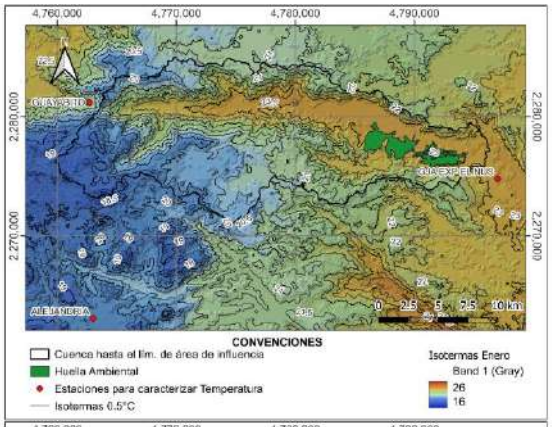
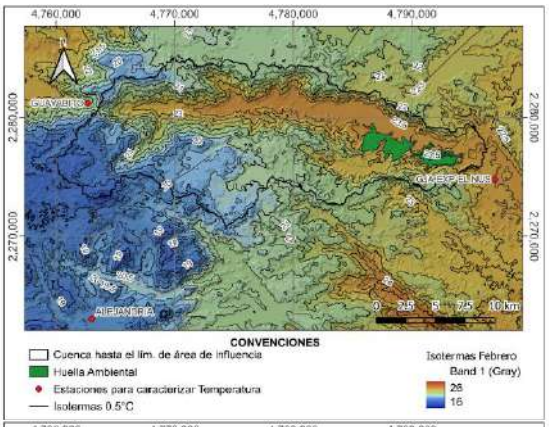
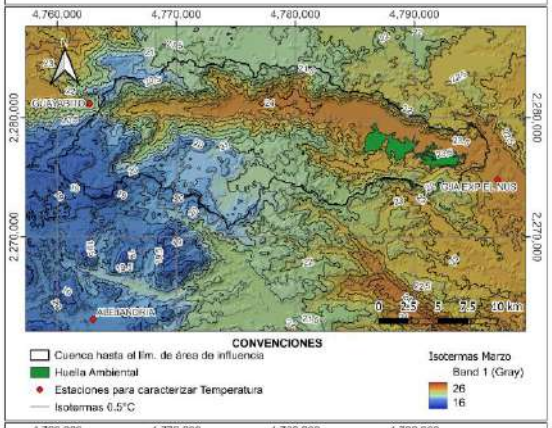


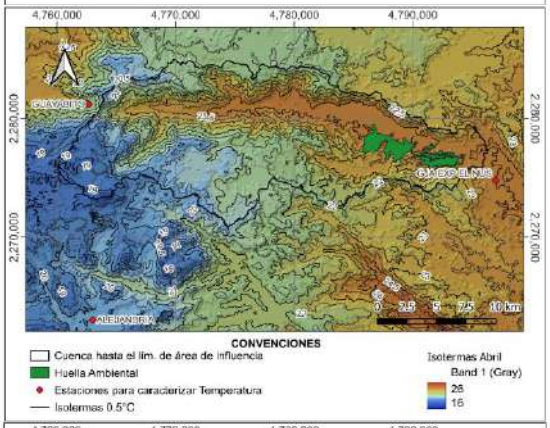
Figura 5.1.5.28 Ráster de temperaturas medias multianuales (5m x 5m) e Isotermas para el área de caracterización climática.

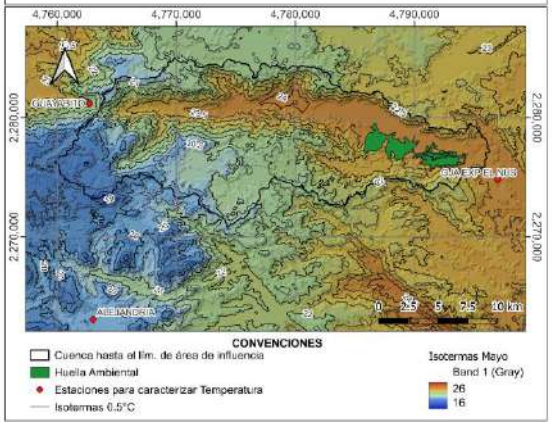
Fuente: Integral S.A., 2025

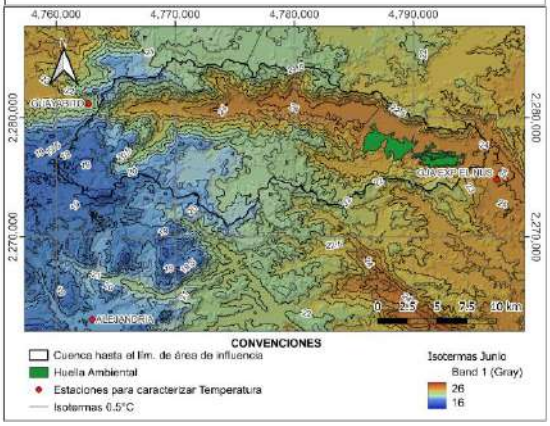

4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Enero
Band 1 (Gray)
26
16


4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Febrero
Band 1 (Gray)
26
16


4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Marzo
Band 1 (Gray)
26
16


4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Abril
Band 1 (Gray)
26
16


4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Mayo
Band 1 (Gray)
26
16


4,760,000
4,770,000
4,780,000
4,790,000
2,280,000
2,270,000
GUAYABITO
GUAEXPLENUS
ALEJANDRIA
0 2.5 5 7.5 10 km
CONVENCIONES
Cuenca hasta el lim. de área de influencia
Huella Ambiental
Estaciones para caracterizar Temperatura
Isotermas 0.5°C
Isotermas Junio
Band 1 (Gray)
26
16

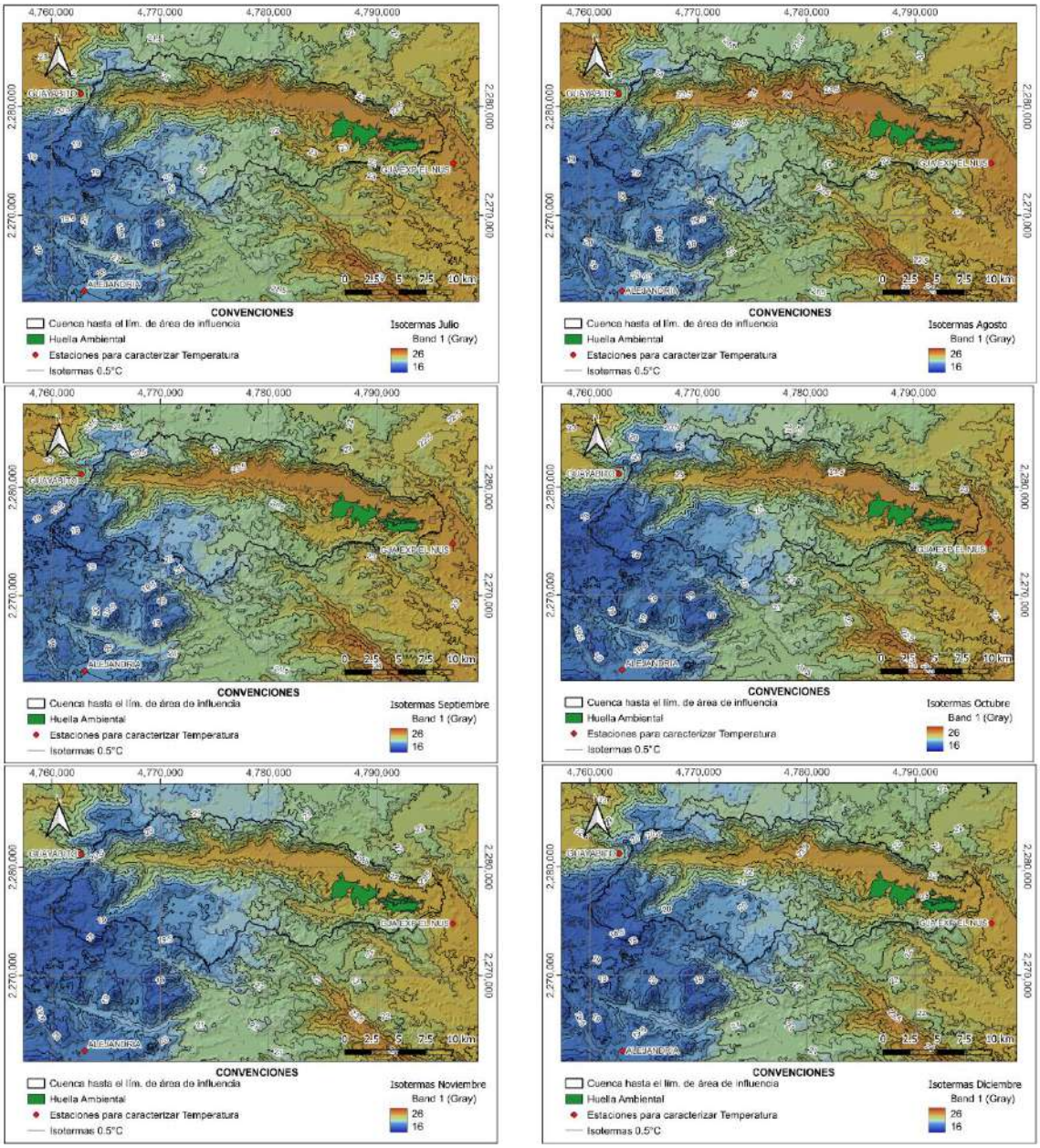


Figura 5.1.5.29 Ráster de temperaturas (5m x 5m) e Isotermas a nivel mensual para el área de caracterización climática

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Distribución espacial de la precipitación

Respecto a la distribución espacial de la precipitación, se debe aclarar inicialmente que este proceso se basó en los datos diarios y las longitudes de registro caracterizadas mediante las pruebas no paramétricas de Pettitt y Mann-Kendall, las cuales fueron aplicadas para asegurar la calidad de la información utilizada (ver análisis en el índice a). Bajo este contexto, en la Tabla 5.1.5.16 se presenta el resumen de las estaciones IDEAM utilizadas,

las cuales se encuentran acompañadas de sus respectivas magnitudes medias que fueron valoradas a escala multianual.

Tabla 5.1.5.16 Estaciones pluviométricas del IDEAM utilizadas para el análisis de lluvias en el área de caracterización climática.

Nombre	Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm. .)	Años de registro	Datos faltantes	Pmed multi-anual
San Roque	23080760	4.777.030,13	2.275.300,52	1.435	30	0,06%	3.945
Gja Exp. el Nus	23085080	4.796.966,92	2.274.793,56	859	30	10,88%	2.325
Alejandría	23085030	4.762.999,44	2.263.061,87	1.712	27	0,02%	4.806
El Morro	23080660	4.764.158,38	2.273.053,21	2.210	13	0,45%	3.684
Guayabito	27015190	4.762.699,84	2.281.208,96	1.440	54	1,79%	3.868
Las Violetas	23085210	4.778.540,60	2.259.969,85	1.016	13	0,54%	3.952
San Antonio	27011230	4.762.196,24	2.290.101.65	1.029	21	0,55%	2.216
Santo Domingo	23080390	4.760.785,72	2.273.244,39	1.944	37	3,24%	3.468
Yolombo	23100040	4.777.751,96	2.287.106,39	1.442	20	4,01%	3.183

Nota1: La ubicación de los puntos de análisis se encuentra en coordenadas Magna-Sirgas Origen Nacional.

Nota2: Las longitudes de las series, así como los porcentajes de datos faltantes se obtienen luego de aplicar las pruebas no paramétricas para valorar la calidad de los datos utilizados.

Nota3: Las unidades de precipitación se encuentran dadas en milímetros (mm).

Nota4: Para obtener el promedio multianual se usaron aquellos años que son considerados como “completos”, es decir, aquellos que poseen un porcentaje de datos faltantes inferior al 10% (37 días).

Fuente: Integral S.A., 2025

De las precipitaciones medias multianuales se encontró que las estaciones Alejandría [23085030], Las Violetas [23085210] y San Roque [23080760] registran los valores más altos de precipitación. Por otra parte, se realizó el análisis a escala mensual y se evidenció 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 5.1.5.17 y Figura 5.1.5.30).

Tabla 5.1.5.17 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

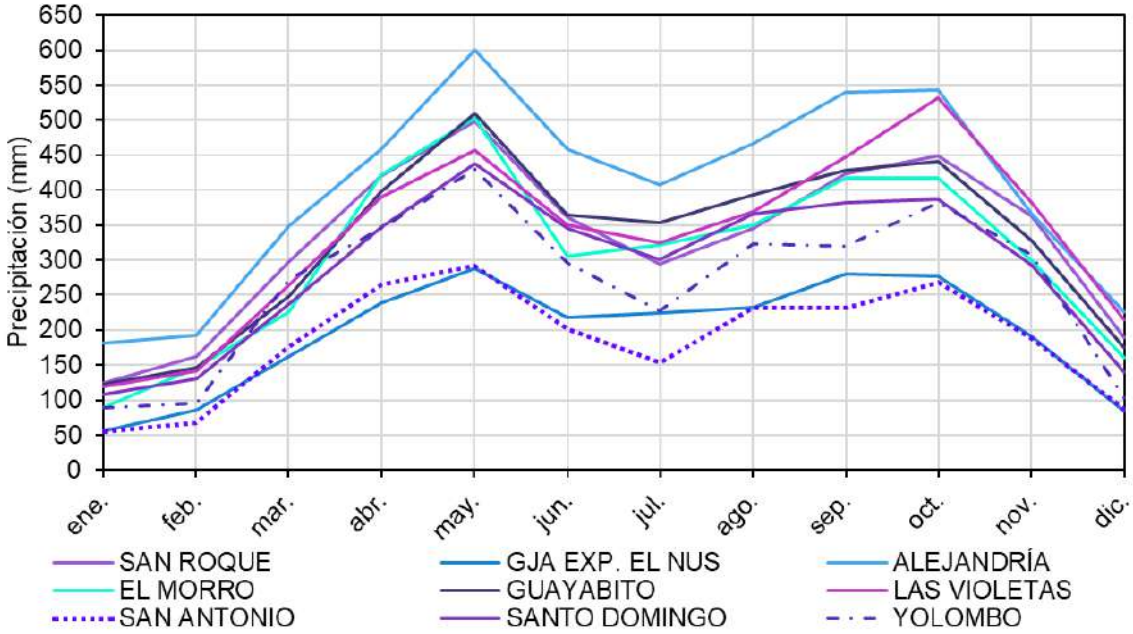


Figura 5.1.5.30 Ciclos característicos de la precipitación para cada estación.

Fuente: Integral S.A., 2025

Por otro lado, tomando como base los valores medios multianuales presentados en la Tabla 5.1.5.16 y aplicando el método de interpolación geoespacial denominado como “Kriging Universal”, se obtuvo el ráster y las isoyetas presentadas en la Figura 5.1.5.31 (ver información ráster en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES). Se debe señalar que para este proceso se utilizó el software SAGA GIS v9.3, en el que se asumió como parámetro predictor la cartografía en escala 1:25.000 (ver numeral a) disponible para el área de influencia y un ajuste del tipo lineal para correlacionar ambos elementos.

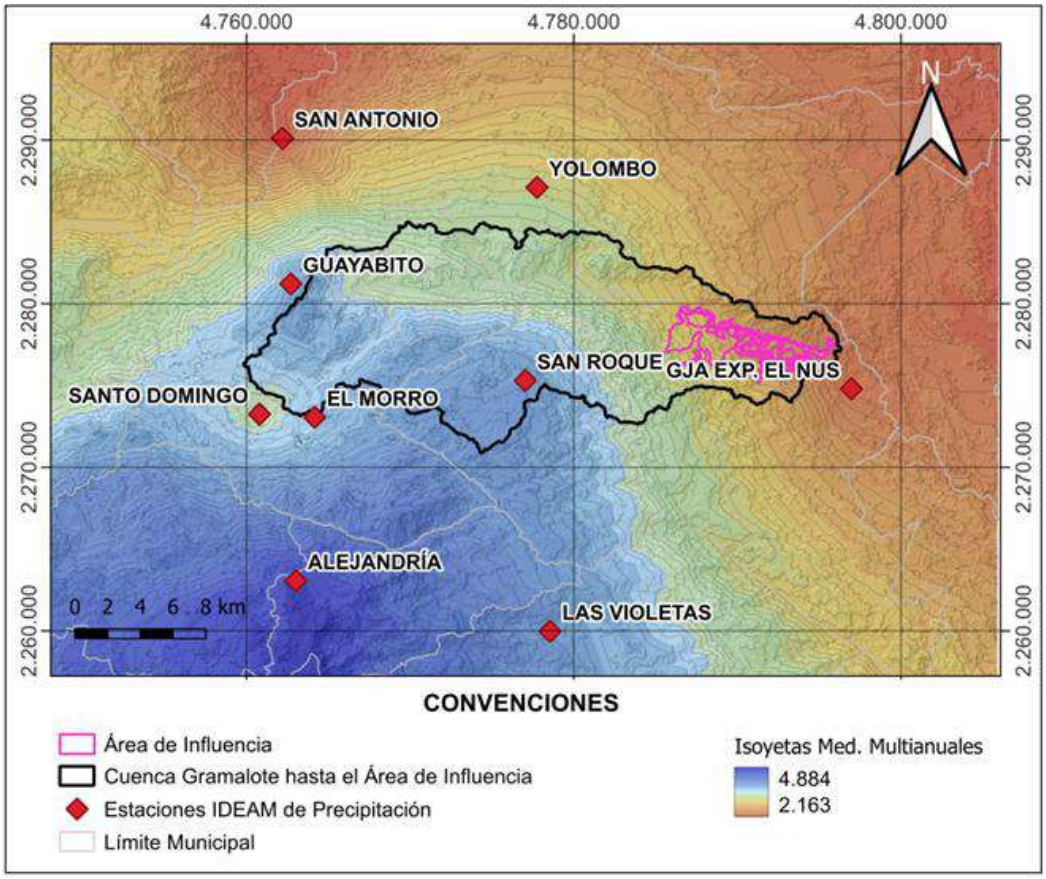


Figura 5.1.5.31 Ráster de precipitaciones (5m x 5m) e Isoyetas para el área de caracterización climática.

Fuente: Integral S.A., 2025

Después de presentar el análisis espacial de la lluvia, se puede observar que las estaciones con mayor relevancia para la caracterización de la precipitación en el área de influencia corresponden a las estaciones San Roque y Granja Experimental Nus.

iii. Caracterización de la Evapotranspiración

La estimación de la Evapotranspiración Real (ETR) requerida para el balance hídrico se realizó a partir de las metodologías de Turc y Budyko. Para esta última, se utilizó como insumo la Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada a partir del método de Cenicafé Modificado (Jaramillo Robledo, 2006).

- Método de Turc

La estimación de la Evapotranspiración Real por el método de Turc (ver Figura 5.1.5.36) se realizó haciendo uso de la herramienta “calculadora ráster” del programa QGIS 3.38.0, esto con el fin de obtener la distribución espacial de esta variable en el área de influencia (ver información ráster en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES). La metodología de Turc requiere de la aplicación de la Ecuación 5.1, la cual considera las precipitaciones y la temperatura media anual presente en el área. Es de señalar que la caracterización

realizada para este último parámetro se presenta en el numeral 5_1_8_1_METEOROLOGIA.

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

Ecuación 5.1 Evapotranspiración real por el método de Turc.

Donde:

L: 300+25T+0,05T3.
P: Precipitación total anual, en mm/año.
T: Temperatura media anual, en °C.

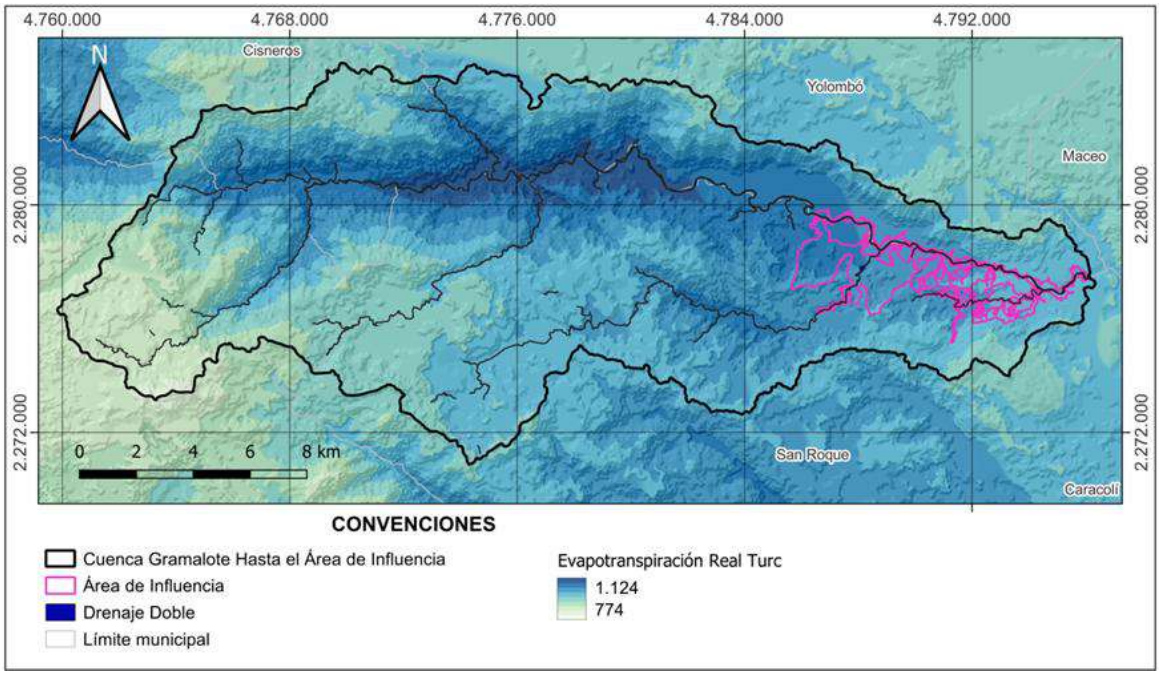


Figura 5.1.5.32 Evapotranspiración espacial calculada por el método de Turc (mm).

Fuente: Integral S.A., 2025

- Método de Budyko

La Evapotranspiración Real calculada por el método de Budyko considera los valores de Evapotranspiración Potencial (ETP) y los valores de precipitación del área de influencia; variables que se relacionan mediante la Ecuación 5.2.

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

Ecuación 5.2 Evapotranspiración real por el método de Budyko.

Donde:

ETR: Evapotranspiración real Budyko, en mm/año.

ETP: Evapotranspiración potencial calculada por la metodología mencionada a continuación, en mm/año.
P: Precipitación, en mm/año.

Para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial se hizo uso de la Ecuación 5.3, la cual corresponde a la propuesta metodológica hecha por Cenicafé mediante el articulo "Evapotranspiración de Referencia en la Región Andina de Colombia" (Jaramillo Robledo, 2006). Dicha expresión es aplicada para las cuencas de los ríos que se ubican en la región Andina (Colombia), puntualmente para altitudes que se encuentran entre los 170 m s.n.m. y los 3.700 m s.n.m. (Jaramillo Robledo, 2006).

$$ETP = 365 * \left(4{,}658 * e^{-0{,}0002h}\right)$$

Ecuación 5.3 ETP total anual según Jaramillo Robledo, 2006.

Donde:

ETP: evapotranspiración potencial total anual, en mm/año.
h: elevación, en m s.n.m. (ver en numeral a cartografía en escala 1:25.000).

A través de la herramienta "calculadora ráster" del software QGis 3.38.0, se generaron las capas de: (1) ETP – ver Figura 5.1.5.33 - y (2) ETR – ver Figura 5.1.5.34 -. Una vez más se aclara que estos resultados pueden ser consultados en su formato ráster en el anexo de caracterización hidrológica (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_CAL_ESPACIALES).

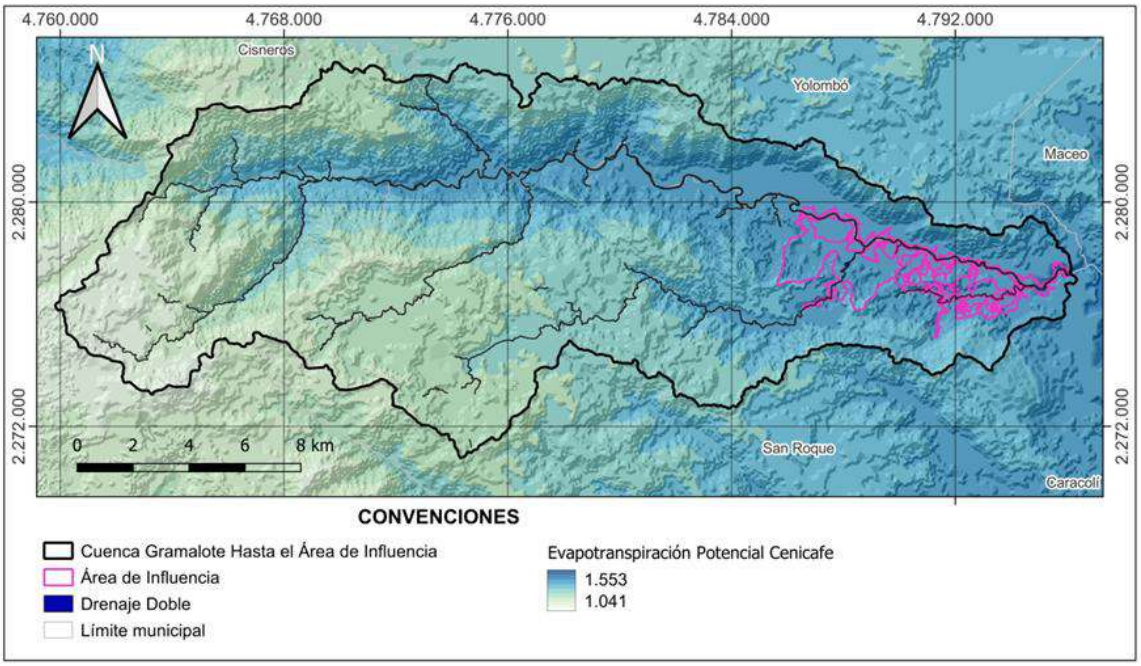


Figura 5.1.5.33 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial calculada por el método de Cenicafé modificado (Jaramillo Robledo, 2006).

Fuente: Integral S.A., 2025

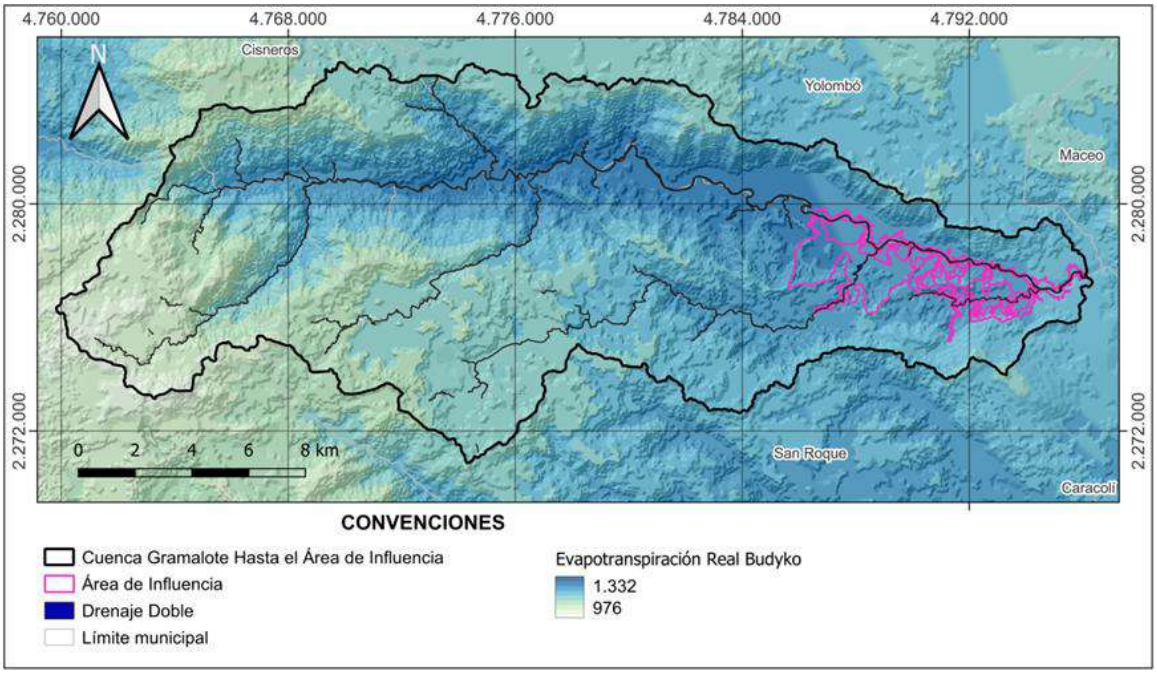


Figura 5.1.5.34 Distribución espacial de la evapotranspiración real por el método de Budyko.

Fuente: Integral S.A., 2025

iv. Valoración de resultados para los caudales medios multianuales

A partir de los mapas de precipitación media multianual y evapotranspiración real, mostrados anteriormente, se utilizó la herramienta “zonal stadistic” de QGIS para estimar para cada área de las cuencas de interés los valores de precipitación media y ETP, luego, se estimaron los caudales medios multianuales mediante el método de balance hídrico a largo plazo (ver Tabla 5.1.5.18). Es de destacar que este proceso fue efectuado tanto para las hoyas hidrográficas de línea base como para aquellas que son susceptibles de intervención por parte del proyecto minero, recurriendo por practicidad a consolidar la totalidad de los resultados obtenidos en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

Tabla 5.1.5.18 Caudales medios multianuales por el método de balance hídrico a largo plazo para las cuecas de línea base sin instrumentar.

Cuenca	Área (km^2)	Precipitación media (mm)	ETR Promedio (mm/año)	Caudal medio(m^3/s)
Qda. Topacio	4,06	3.111	1.147	0,25
Qda. El Banco	1,76	3.012	1.152	0,10
Qda. San Antonio	2,24	2.946	1.149	0,13
Qda. Guacas	64,13	3.635	1.096	5,16
Qda. La Colorada	2,33	2.857	1.133	0,13
Qda. La Maria	1,13	2.741	1.129	0,06
Quebrada Torito	0,27	2.682	1.121	0,01
Qda. La Palestina	15,80	2.768	1.099	0,84

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Método de transferencia de información para estimar los caudales medios sobre los tributarios del río Nus

El método de transferencia de información consiste en estimar el comportamiento hidrológico en una cuenca de interés que carece de registros de caudal, utilizando como base los datos provenientes de una cuenca instrumentada con características hidrológicas similares. En este caso, el estimativo del caudal medio multianual en las cuencas de interés (tributarios de río Nus), se realiza a partir del caudal medio multianual de la cuenca pivote, la relación entre las áreas de drenaje y las precipitaciones de ambas cuencas, tal y como se establece en la Ecuación 5.4.

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

Ecuación 5.4 Ecuación de transferencia de caudal.

Donde:

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

Como es de suponer la estación seleccionada como pivote para la transferencia de información fue la estación IDEAM *Caramanta [23087160]*. Las precipitaciones medias, tanto para las cuencas no instrumentadas como para la correspondiente al río Nus (con corte hasta el punto de registro), se obtuvieron a partir del ráster de precipitación previamente presentado (ver Figura 5.1.5.31). Dicho esto, en la Tabla 5.1.5.19 se muestran para las cuecas de línea base sin instrumentar los datos que fueron utilizados y los resultados obtenidos. Se señala que los análisis para la totalidad de las cuencas (línea base y aquellas susceptibles de intervención) se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACIÓN_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

Tabla 5.1.5.19 Caudales medios multianuales mediante el método de transferencia para las cuecas de línea base sin instrumentar.

Cuenca	Área (km^2)	Precipitación promedio multianual (mm)	Caudal medio diario multianual (m^3/s)
Rio Nus (Caramanta)	277,60	3.499	20,52
Qda. Topacio	4,06	3.111	0,27
Qda. El Banco	1,76	3.012	0,11
Qda. San Antonio	2,24	2.946	0,14
Qda. Guacas	64,13	3.635	4,92
Qda. La Colorada	2,33	2.857	0,14
Qda. La Maria	1,13	2.741	0,07
Quebrada Torito	0,27	2.682	0,02
Qda. La Palestina	15,80	2.768	0,92

Fuente: Integral S.A., 2025

III. Análisis de resultados de caudal medio para los tributarios del río Nus

Concluidas las valoraciones hechas mediante los métodos de balance hídrico a largo plazo y de transferencia de información, se realizó una comparación entre los caudales medios obtenidos, encontrándose que entre ambos estimativos se presentaban diferencias que oscilan alrededor de un 10%. Bajo este hallazgo se optó por tomar como valor medio multianual para las cuencas no instrumentadas, el promedio aritmético asociado a las magnitudes de ambos esquemas teóricos, tal y como se presenta en la Tabla 5.1.5.20. Se aclara que la totalidad de los caudales medios se incluyen en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

Tabla 5.1.5.20 Caudales Medios Multianuales en m3/s para las cuencas no instrumentadas.

Cuenca	Método transferencia (m^3/s)	Método balance hídrico (m^3/s)	Diferencia (%)	Caudal promedio (m^3/s)
Qda. Topacio	0,27	0,25	5%	0,26
Qda. El Banco	0,11	0,10	8%	0,11
Qda. San Antonio	0,14	0,13	9%	0,13
Qda. Guacas	4,92	5,16	5%	5,04
Qda. La Colorada	0,14	0,13	10%	0,13
Qda. La Maria	0,07	0,06	12%	0,06
Quebrada Torito	0,02	0,01	13%	0,01
Qda. La Palestina	0,92	0,84	10%	0,88

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Caudales Máximos

A partir de la serie de caudales máximos instantáneos anuales de la estación *Caramanta [23087160]* -Ver Figura 5.1.5.35-, se realizó un análisis de frecuencia mediante el uso de las distribuciones probabilísticas Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson; las cuales a su vez fueron graficadas en papeles probabilísticos Gumbel, Log Gumbel, y Normal, Log Normal (Ver tendencias en Figura 5.1.5.36). Los datos y análisis

efectuados se presentan en su totalidad en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGICA_5_03_AF_Qmax.

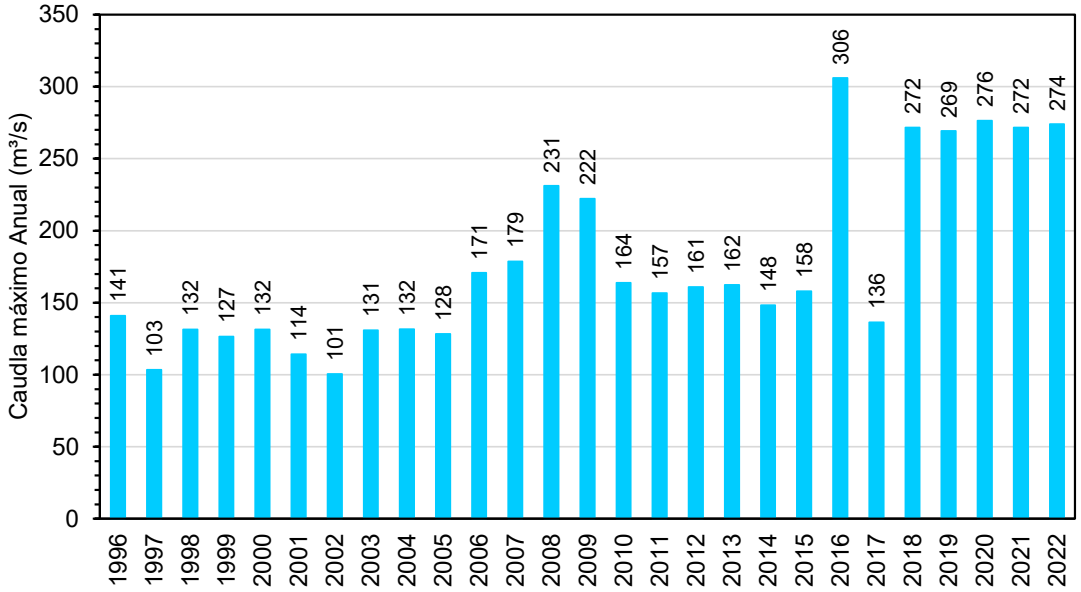


Figura 5.1.5.35 Caudales máximos anuales de la estación Caramanta [23087160].

Fuente: Integral S.A., 2025

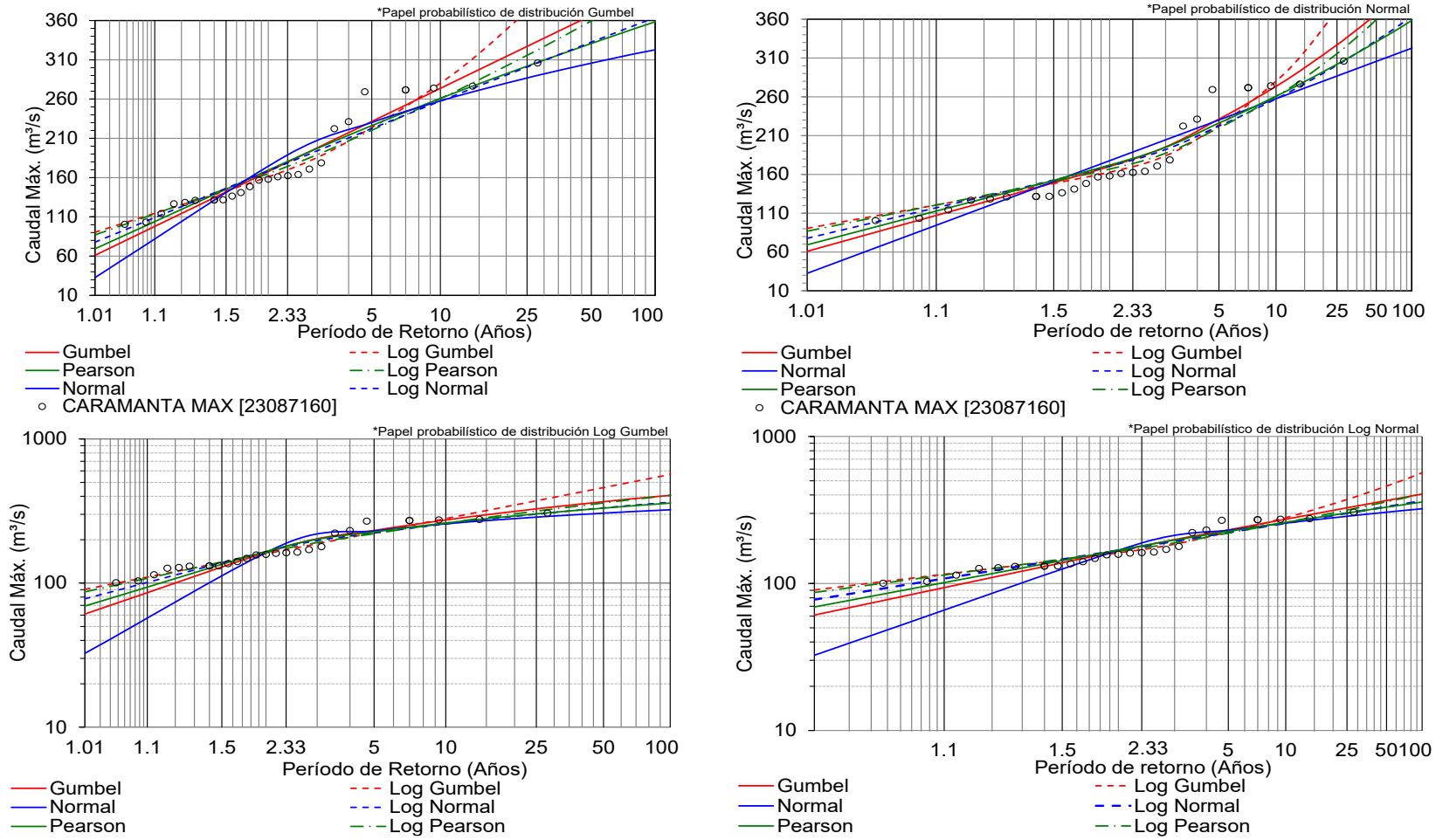


Figura 5.1.5.36 Distribuciones de probabilidad en diferentes tipos de papel probabilístico.

Fuente: Integral S.A., 2025

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que la distribución que presenta el mejor ajuste a los datos observados corresponde a la función probabilística de Log Pearson (Ver Figura 5.1.5.37). En este contexto se presentan en la Tabla 5.1.5.21 los valores de caudales máximos asociados a los periodos de retorno de: 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000 y 1 millón de años (Creciente Máxima Probable -CMP-).

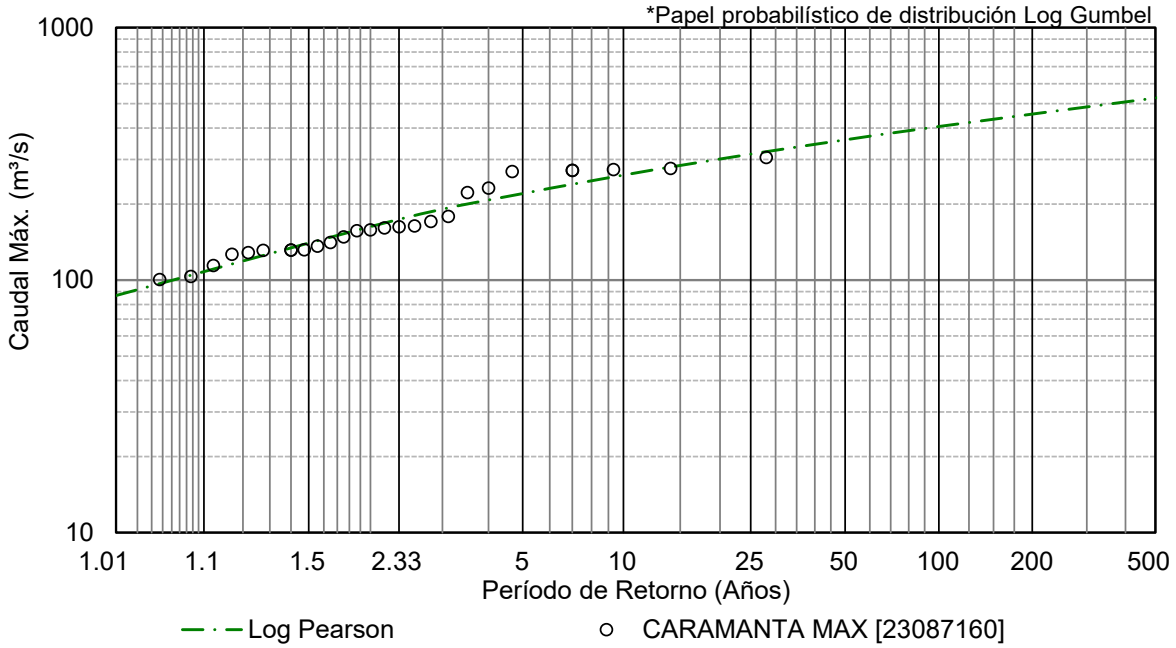


Figura 5.1.5.37 Curva de frecuencia de caudales máximos en la estación Caramanta.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.21 Caudales máximos estimados en la estación Caramanta.

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m³/s)
2,33	174,10
5	220,17
10	260,59
25	315,59
50	359,52
100	406,07
500	526,63
1.000	584,83
1’000.000	1469,58

Fuente: Integral S.A., 2025

En relación con las cuencas de los cauces no instrumentados (tributarios del río Nus), se recurrió a métodos indirectos, específicamente a modelos teóricos del tipo lluvia-escorrentía. Estos cálculos se realizan aplicando los métodos de Williams y Hann, el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.) y el Método Racional, este último aplicable únicamente a cuencas con áreas menores a 3 km². Los cálculos para las cuencas de línea base como

para aquellas que son susceptibles de intervención por parte del proyecto minero se encuentran en ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Max.

Estos modelos estiman los caudales máximos de una cuenca en función de la precipitación que los genera y de la respuesta hidrológica de la cuenca ante dicho fenómeno meteorológico. En consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de las crecientes está directamente relacionada con el período de retorno de la lluvia que las origina, elemento que según los métodos aplicados requiere de la evaluación previa de las respectivas curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para las estaciones IDEAM San Roque [23080760] y Granja Experimental El Nus [23085080], instrumentación que presenta la mayor preponderancia dentro del área de influencia (ver análisis en literal i, numeral b). Así mismo, para la aplicación de estos esquemas se valorarán parámetros hidrológicos adicionales, tales como: (A) Tiempos de concentración, (B) Usos del suelo y coeficientes de escorrentía, y (C) Precipitaciones máximas sobre zona.

- Valoración de las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)

Para la estimación de las curvas IDF se actualizaron los análisis de frecuencia correspondientes a las series de precipitación máxima en 24 horas para las estaciones *San Roque [23080760]* y *Granja Experimental El Nus [23085080]*. De este proceso se observó que las distribuciones que presentan el mejor ajuste respecto a los datos observados corresponden respectivamente a Log Pearson y Gumbel (ver resultados en Figura 5.1.5.38). En ambos casos, el proceso que fue llevado a cabo se detalla en los anexos denominados como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_03_AF_Pmax_SR, y ANEXOS_ CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_03_AF_Pmax_GEN.

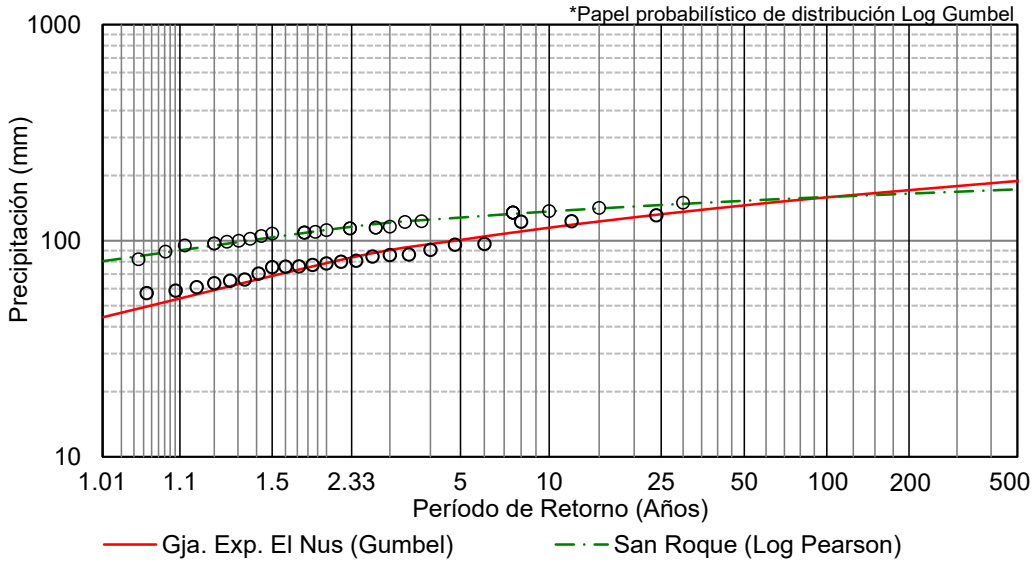
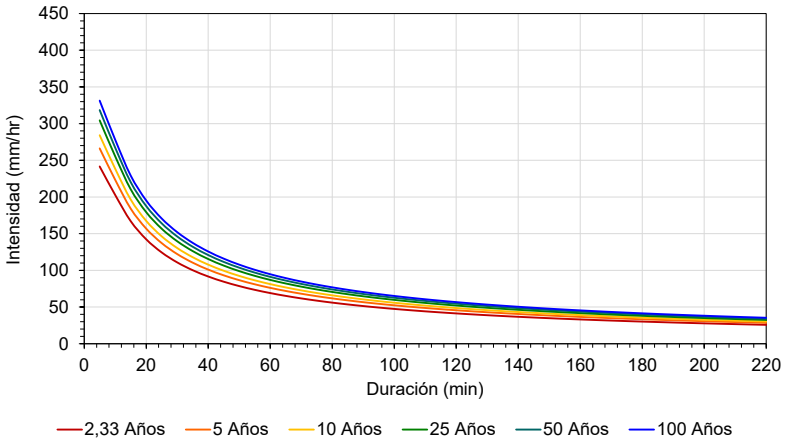


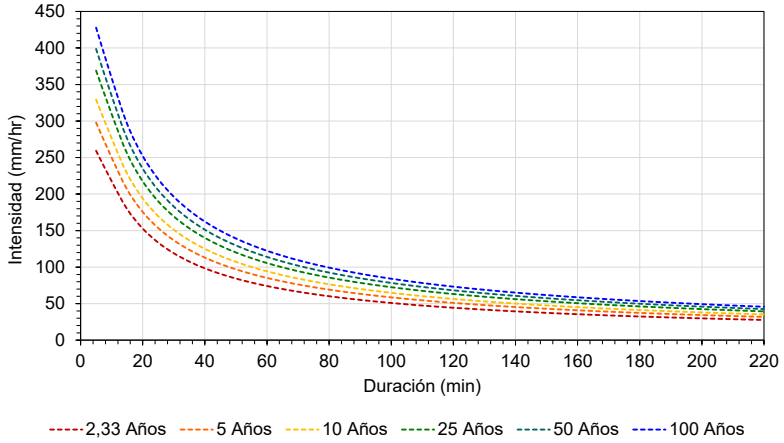
Figura 5.1.5.38 Distribución de probabilidad para las estaciones en análisis.

Fuente: Integral S.A., 2025

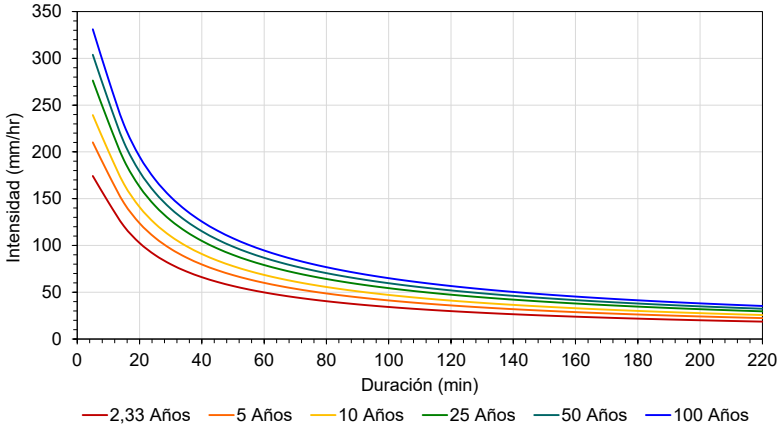
Se debe precisar que con el fin de validar estos resultados fueron contrastados los nuevos estimativos respecto a los datos que se derivan del EIA del año 2015, obteniéndose los hallazgos que son expuestos en la Figura 5.1.5.39 y la Tabla 5.1.5.22. Se destaca que este ejercicio puede encontrarse con mayor detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_03_IDF.



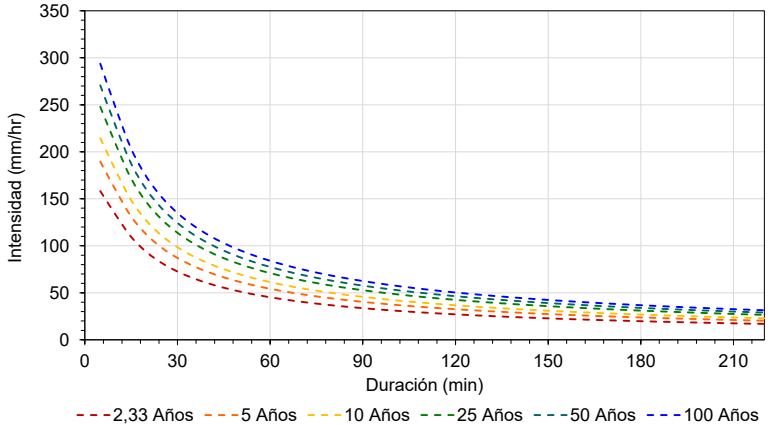
Estación San Roque (Datos actualizados)



Estación San Roque (EIA 2015)



Estación Granja Experimental Nus (Datos Actualizados)



Estación Granja Experimental Nus (EIA 2015)

Figura 5.1.5.39 Comparativo de Curvas IDF para la estación San Roque y Gja Exp. Nus (datos actualizados Vs anterior EIA).

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.22 Comparativo de las precipitaciones máximas en 24 horas para las estaciones San Roque y Granja Experimental El Nus (datos actualizados Vs anterior EIA).

Período de retorno (años)	Datos actualizados		EIA (2015)	
	San Roque	Gja Exp. El Nus	San Roque	Gja Exp. El Nus
2,33	116	84	125	76
5	128	101	143	91
10	136	115	158	103
25	146	133	177	119
50	153	146	191	130
100	159	159	205	141

Fuente: Integral S.A., 2025

Como se puede observar, la estación *San Roque [23080760]* presenta para las series actualizadas una disminución tanto en las precipitaciones máximas de 24 horas como en las curvas IDF; caso contrario sucede en la estación *Granja Experimental Nus [23085080]*, donde se identifica un aumento de los nuevos estimativos respecto a los anteriores datos presentados en el EIA de 2015. Bajo ese contexto, para la estación *Granja Experimental El Nus [23085080]* se toman como referencia las curvas actualizadas; mientras que para la estación *San Roque [23080760]* se realiza un análisis de cambio climático para validar la tendencia presentada por las precipitaciones en esta zona.

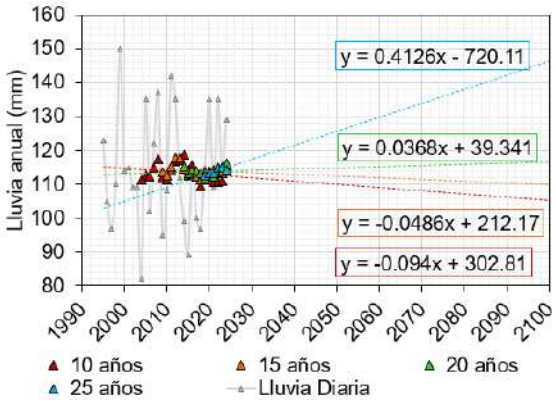
Cabe aclarar que el análisis de cambio climático que será desarrollado se centra en evaluar las proyecciones potenciales de los registros de precipitación mediante un análisis estadístico del tipo estacionario. Para dicho estudio se valorarán las posibles magnitudes de lluvia que pueden esperarse para los años 2.050 y 2.100 haciendo uso de parámetros auxiliares como la media y la desviación estándar. En este sentido se definieron a su vez cuatro periodos de análisis correspondientes a 10, 15, 20 y 25 años.

Con la finalidad de abarcar la totalidad de los datos de la estación, las diferentes ventanas de tiempo se plantearon en dos sentidos: “progresivo”, tomando el primer dato de la serie (p. ej. 1995) y definiendo las ventanas móviles desde este dato en adelante (1995, 1996, 1997, …); y “regresivo”, tomando el último dato de la serie (p. ej. 2024) y definiendo las ventanas móviles desde este dato hacia atrás (2024, 2023, 2022, …) - ver resultados de este ejercicio en Figura 5.1.5.40.

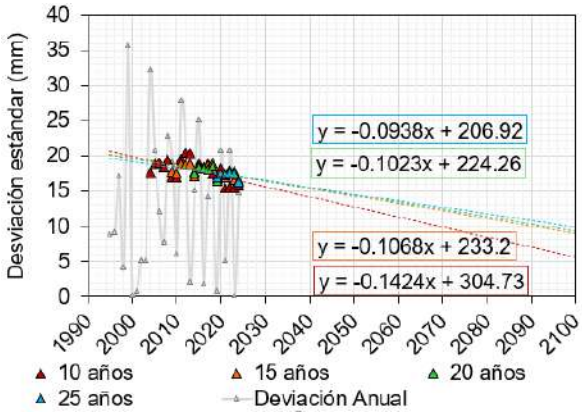
Cabe aclarar que, para el análisis final de resultados se consideró una ventana temporal que cumpliera con los siguientes criterios: (1) El periodo de valoración debe corresponder aproximadamente a la mitad de los años de registro de la estación, y (2) La ventana mínima de análisis debe ser igual o mayor a 10 años. Estos elementos buscan que los estimativos realizados se basen en aquellas proyecciones que se encuentren sobre el punto medio del abanico de variabilidad que ofrecen las tendencias ubicadas sobre los extremos – periodos de análisis que para este caso corresponden a 10 y 25 años -.

Considerando que la serie de precipitaciones de la estación *San Roque [23080760]* posee una longitud de registro equivalente a 29 años, se asume como ventana de caracterización aquella correspondiente a 15 años (ver Figura 5.1.5.40), logrando de esta forma observar que tanto para el análisis regresivo como el progresivo hay una tendencia de disminución tanto en la media como en la desviación estándar. Realizando una extrapolación lineal de las tendencias encontradas hasta los años 2.050 y 2.100 (ver Tabla 5.1.5.23, Figura 5.1.5.41y Figura 5.1.5.42), se estima que, bajo los análisis regresivo y progresivo, se podría

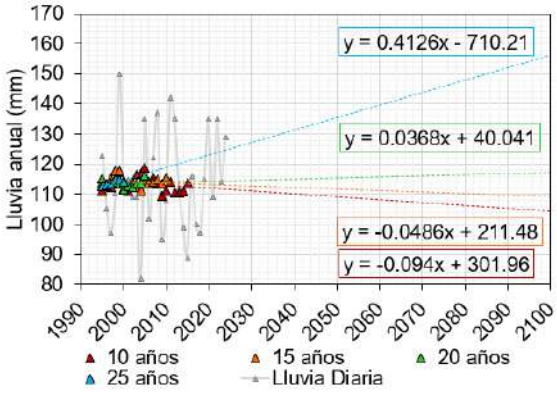
obtener una disminución en la media que equivale entre 1,4%-3,6% y un 2,0%-4,2% respectivamente. Asimismo, la disminución en la desviación estándar puede indicar una posible reducción hacia futuro de los eventos máximos, hipótesis que puede materializarse siempre y cuando se conserve durante los próximos años la tendencia hasta ahora registrada. Se resalta que los datos y análisis efectuados se presentan en su totalidad en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION _HIDROLOGIA_5_03_C_Clima.



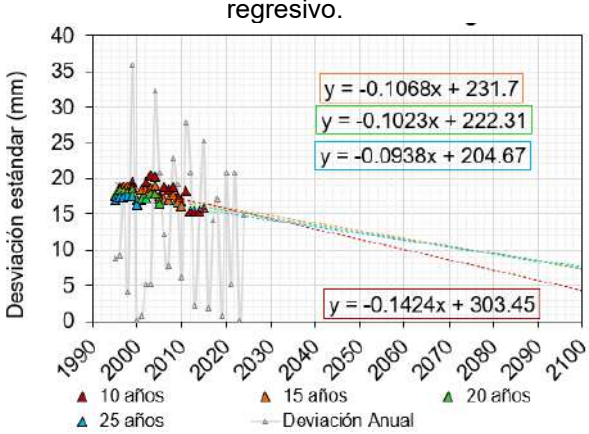
Período de la media móvil para el análisis regresivo



Período de desviación móvil para el análisis regresivo.



Período de media móvil para el análisis progresivo



Período de desviación móvil para el análisis progresivo

Figura 5.1.5.40 Proyecciones de precipitación considerando la media y desviación móvil (análisis regresivo y progresivo).

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.23 Extrapolación lineal de la tendencia de la media (29 años) y desviación hasta el 2.050 y 2.100

Análisis	Regresivo		Progresivo	
Año	Media	Desviación	Media	Desviación
2.024	114	17	114	17
2.050	113	14	112	13
2.100	110	9	109	0

Fuente: Integral S.A., 2025

Con la finalidad de efectuar una comparación respecto a la caracterización base realizada para la estación *San Roque [23080760]* – ver Figura 5.1.5.38 -, se procede en las Figura 5.1.5.41 y Figura 5.1.5.42 a superponer los análisis de frecuencia de las tendencias regresivas y progresivas que se esperan para los años 2.050 y 2.100. Se aclara que estos análisis fueron obtenidos haciendo uso de la media, la desviación estándar y el coeficiente de frecuencia perteneciente a cada horizonte de tiempo (ver Tabla 5.1.5.23). Como puede ser observado en las siguientes figuras, se identifica una disminución a partir de los 2.33 años en adelante, diferencias que fueron valoradas entre 0,9% a 29,6% (año 2.050) y 4,3% a 52,0% (año 2.100).

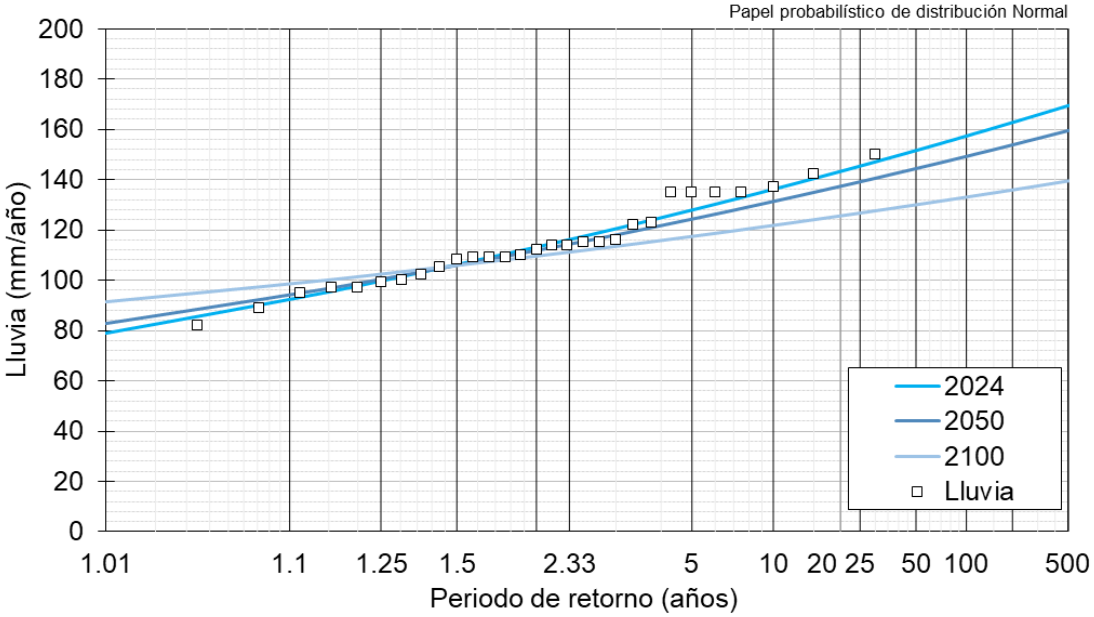


Figura 5.1.5.41 Análisis de frecuencias de la estimación regresiva.

Fuente: Integral S.A., 2025

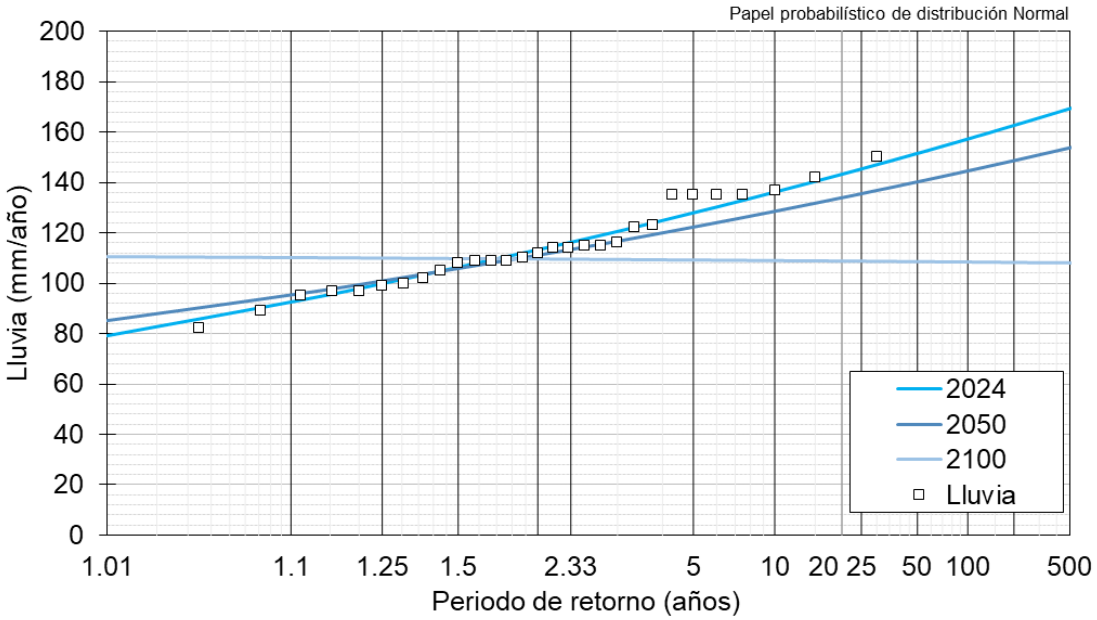


Figura 5.1.5.42 Análisis de frecuencias de la estimación progresiva.

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez validada la tendencia de disminución de las precipitaciones sobre la estación *San Roque [23080760],* se opta bajo una postura conservadora para el análisis de caudales máximos por mantener la curva IDF que fue presentada en el EIA del año 2015. Este enfoque permite incluir un factor de seguridad para el dimensionamiento de la infraestructura asociada al proyecto y la posterior caracterización de riesgos.

- Tiempos de concentración

Los tiempos de concentración (Tc) de las hoyas hidrográficas de línea base ubicadas en el área de influencia fueron caracterizados aplicando las metodologías propuestas por: Kirpich (1940), Ventura-Heron (1990), Giandotti (1934), U.S.C.E. (1980), Bransby (1920) y Chow (1964). Bajo este contexto, se presentan en la Tabla 5.1.5.24 los resultados que fueron obtenidos, destacando que el valor que fue finalmente adoptado para cada cuenca corresponde al promedio de todos esquemas. Finalmente, se destaca que los estimativos efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Max.

Tabla 5.1.5.24 Tiempos de concentración estimados y adoptado para cada cuenca.

Nombre de la cuenca	Tiempo de concentración (min)						
	Kirpich	Ventura	Giandotii	U.S.C.E.	Bransby	Chow	Valor asumido (min)
Qda. Topacio	38	101	58	73	112	80	77
Qda. El Banco	27	76	43	54	84	61	58
Qda. San Antonio	27	72	50	52	76	60	56
Qda. Guacas	186	412	176	301	533	304	319
Qda. La Colorada	24	68	45	49	71	55	52
Qda. La Maria	17	47	41	34	46	42	38
Quebrada Torito	8	26	20	18	25	22	20
Qda. La Palestina	77	184	106	133	213	146	143

Fuente: Integral S.A., 2025

- Usos del suelo y coeficientes de escorrentía

En la Tabla 5.1.5.25 se presentan los usos del suelo para cada una de las cuencas hidrográficas de línea base con sus respectivos números de curva (NC), para los cuales se asumió la condición de humedad antecedente Tipo II (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Se resalta que esta caracterización se basa en el levantamiento de campo de las coberturas vegetales que fue realizada en el marco del proceso de Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Así mismo, se debe aclarar que para aquellas áreas de valoración hidrológica que se encuentran por fuera de dicho levantamiento, se recurrió a las coberturas vegetales del Corine Land Cover del IDEAM en escala 1:100.000. Bajo este contexto, se presenta mediante la Figura 5.1.5.43 la unión de las capas vegetales utilizadas, elemento que fue posteriormente utilizado para clasificación zonal que define las propiedades hidrológicas de cada hoya hidrográfica bajo estudio.

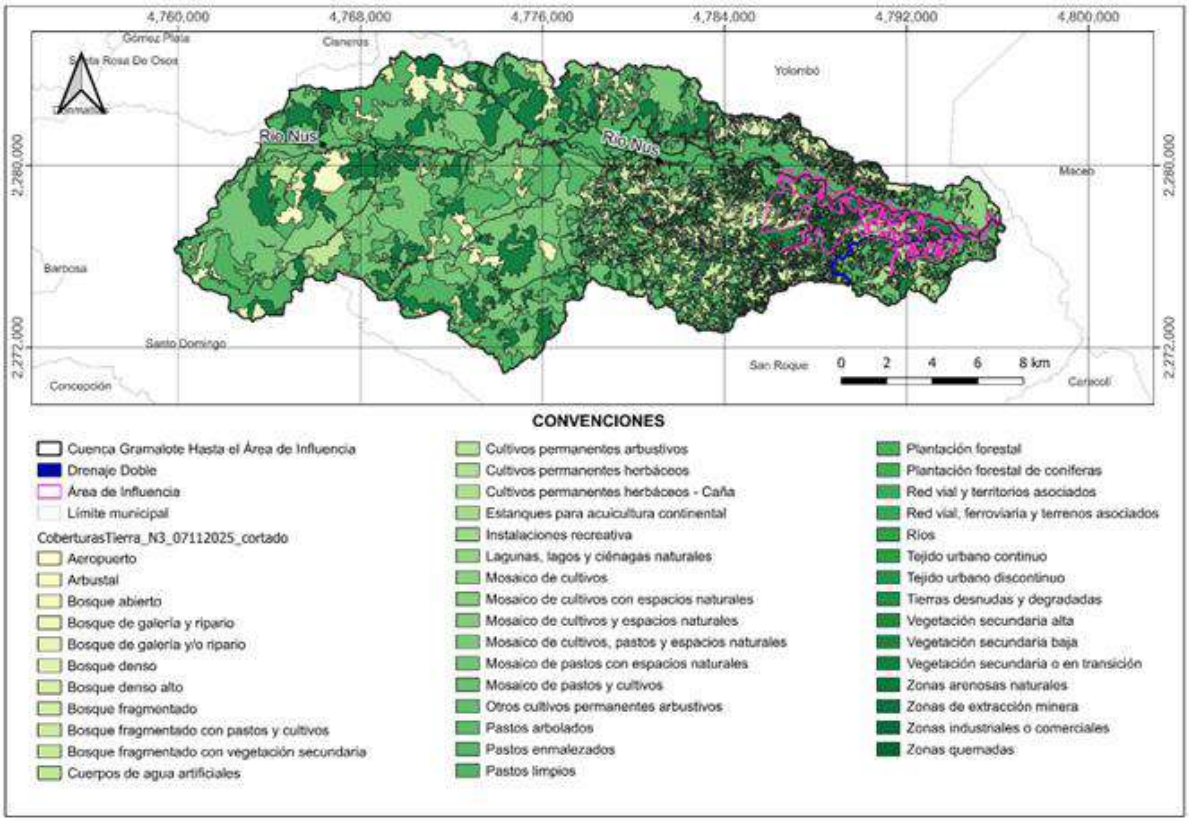


Figura 5.1.5.43 Coberturas vegetales utilizadas para la definición de las propiedades hidrológicas de las hoyas hidrográficas bajo estudio.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.25 Ponderación en el área del número de curva según el uso del suelo (cuencas de línea base).

Cuenca	Tipo de uso de suelo	%Área cubierta	Numero de curva	
Qda. Topacio	Bosque denso	0,33%	70	77
	Ríos (50 m)	0,11%	100	
	Bosque de galería y ripario	23,21%	71	
	Pastos arbolados	0,01%	79	
	Pastos limpios	12,88%	86	
	Pastos enmalezados	13,60%	74	
	Tejido urbano discontinuo	0,02%	90	
	Tierras desnudas y degradadas	0,09%	87	
	Vegetación secundaria o en transición	14,37%	77	
	Zonas arenosas naturales	0,03%	85	
	Bosque fragmentado	35,14%	80	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,20%	89	
Qda. El Banco	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,11%	89	78
	Bosque de galería y ripario	17,54%	71	
	Pastos arbolados	7,54%	79	
	Pastos limpios	13,10%	86	

Cuenca	Tipo de uso de suelo	%Área cubierta	Numero de curva	
	Pastos enmalezados	2,25%	74	
	Vegetación secundaria o en transición	29,92%	77	
	Bosque fragmentado	29,54%	80	
	Ríos (50 m)	0,00%	100	
Qda. San Antonio	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,1%	100	80
	Cuerpos de agua artificiales	0,0%	100	
	Mosaico de cultivos	0,0%	80	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,6%	89	
	Bosque de galería y ripario	8,0%	71	
	Pastos arbolados	13,2%	79	
	Pastos limpios	22,1%	86	
	Pastos enmalezados	12,3%	74	
	Tejido urbano discontinuo	0,5%	90	
	Tierras desnudas y degradadas	1,1%	87	
	Vegetación secundaria o en transición	7,2%	77	
	Bosque fragmentado	34,8%	80	
Qda. Guacas	Cultivos permanentes arbustivos	0,2%	78	80
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6,6%	79	
	Mosaico de cultivos y espacios naturales	0,0%	77	
	Plantación forestal	0,4%	77	
	Mosaico de pastos y cultivos	10,3%	83	
	Cuerpos de agua artificiales	0,0%	100	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,4%	89	
	Mosaico de cultivos	0,9%	80	
	Zonas industriales o comerciales	0,1%	94	
	Zonas quemadas	0,1%	96	
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,0%	100	
	Zonas de extracción minera	0,1%	96	
	Bosque denso	3,7%	70	
	Bosque fragmentado	10,6%	80	
	Ríos (50 m)	0,3%	100	
	Bosque de galería y ripario	3,0%	71	
	Pastos arbolados	9,4%	79	
	Pastos limpios	21,6%	86	
	Pastos enmalezados	4,0%	74	
	Tejido urbano discontinuo	0,3%	90	
	Tierras desnudas y degradadas	0,0%	87	
	Vegetación secundaria o en transición	17,2%	77	
	Zonas arenosas naturales	0,0%	85	
	Cultivos permanentes herbáceos	2,7%	80	
	Tejido urbano continuo	0,8%	98	
	Mosaico de pastos con espacios naturales	6,4%	82	
	Bosque abierto	0,9%	77	
Qda. La Colorada	Zonas de extracción minera	5,5%	96	80
	Zonas industriales o comerciales	0,0%	94	
	Mosaico de cultivos	1,4%	80	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,9%	89	
	Bosque de galería y ripario	1,6%	71	
	Pastos arbolados	2,6%	79	

Cuenca	Tipo de uso de suelo	%Área cubierta	Numero de curva	
	Pastos limpios	13,1%	86	
	Pastos enmalezados	7,4%	74	
	Tejido urbano continuo	1,4%	98	
	Tejido urbano discontinuo	0,5%	90	
	Vegetación secundaria o en transición	46,1%	77	
	Cultivos permanentes herbáceos	19,5%	80	
Qda. La Maria	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4,2%	79	
	Bosque de galería y ripario	0,6%	71	
	Pastos limpios	1,1%	86	
	Pastos enmalezados	6,3%	74	
	Tejido urbano discontinuo	3,5%	90	80
	Vegetación secundaria o en transición	16,3%	77	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,8%	89	
	Ríos (50 m)	0,0%	100	
	Cultivos permanentes herbáceos	67,2%	80	
Qda. El Torito	Mosaico de cultivos	5,7%	80	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1,4%	89	
	Bosque de galería y ripario	0,8%	71	
	Pastos arbolados	11,7%	79	
	Pastos limpios	16,4%	86	79
	Pastos enmalezados	26,4%	74	
	Tejido urbano discontinuo	1,6%	90	
	Vegetación secundaria o en transición	12,5%	77	
	Cultivos permanentes herbáceos	23,4%	80	
Qda. La Palestina	Instalaciones recreativas	0,0%	79	
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	8,2%	79	
	Mosaico de cultivos y espacios naturales	0,2%	77	
	Mosaico de pastos y cultivos	5,0%	83	
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,6%	89	
	Mosaico de cultivos	1,2%	80	
	Bosque denso	1,3%	70	
	Bosque fragmentado	2,0%	80	
	Ríos (50 m)	0,2%	100	
	Bosque de galería y ripario	13,0%	71	79
	Pastos arbolados	7,6%	79	
	Pastos limpios	23,7%	86	
	Pastos enmalezados	5,2%	74	
	Tejido urbano discontinuo	0,6%	90	
	Tierras desnudas y degradadas	0,1%	87	
	Vegetación secundaria o en transición	17,4%	77	
	Zonas arenosas naturales	0,0%	85	
	Tejido urbano continuo	0,2%	98	
	Cultivos permanentes herbáceos	13,4%	80	

Fuente: Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta los resultados expuestos en la tabla anterior, se estimaron los coeficientes de escorrentía para las cuencas bajo análisis (Ver Tabla 5.1.5.26). Se aclara que el valor presentado es representativo para los diferentes periodos de retorno que serán

considerados durante la parametrización de los caudales máximos sobre las cuencas que carecen de instrumentación (tributarios del río Nus).

Tabla 5.1.5.26 Coeficientes de escorrentía para las hoyas hidrográficas de línea base.

Nombre de la cuenca	Coeficiente de escorrentía
Qda. Topacio	0,44
Qda. El Banco	0,45
Qda. San Antonio	0,45
Qda. Guacas	0,46
Qda. La Colorada	0,49
Qda. La Maria	0,48
Qda. El Torito	0,44
Qda. La Palestina	0,46

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez obtenidos los resultados de los números de curva y los coeficientes de escorrentía para cada cuenca, se procedió a contrastar dicha información respecto a la caracterización efectuada durante la primera modificación de licencia ambiental (2019) e. Este comparativo reflejó que producto de la actualización realizada, la parametrización hidrológica es mayor para casi todas hoyas hidrográficas, lo que significa una mayor escorrentía y por ende un mayor caudal. Bajo este hallazgo, y buscando adoptar una postura conservadora para el dimensionamiento de la infraestructura y la caracterización de riesgos, se deciden adoptar los mayores coeficientes que surgen del contraste de ambas fuentes de información, tal y como se ilustra en la Tabla 5.1.5.27. Finalmente, se destaca que los estimativos efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_01_NC_C.

Tabla 5.1.5.27 Comparación y elección de los coeficientes de escorrentía y Números de Curva.

Cuenca	Número de curva actualizado	Número de curva 2018	Coeficiente de escorrentía actualizado	Coeficiente de escorrentía 2018	Número de curva selec.	Coeficiente de escorrentía selec.
Qda. Topacio	77	75	0,44	0,42	77	0,44
Qda. El Banco	78	73	0,45	0,4	78	0,45
Qda. San Antonio	80	73	0,45	0,41	80	0,45
Qda. Guacas	80	75	0,46	0,42	80	0,46
Qda. La Colorada	80	79	0,49	0,46	80	0,49
Qda. La Maria	80	86	0,48	0,52	86	0,52
Qda. El Torito	79	-	0,44	-	79	0,44
Qda. La Palestina	79	78	0,46	0,45	79	0,46

Nota: El guion (-) mostrado para la quebrada El Torito indica que este cauce no fue caracterizado en la primera modificación de licencia ambiental (2019) , por lo que no existen datos disponibles para su comparación.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Precipitación

De acuerdo con el análisis de frecuencia de lluvias máximas de las estaciones *San Roque [23080760]* y *Granja Experimental Nus [23085080]* -ver Figura 5.1.5.38-, se observa que la estación de San Roque registra para periodos de retorno inferiores a los 100 años precipitaciones mayores que la estación Granja Experimental Nus; razón por la cual, para la estimación de caudales máximos en la zona de análisis se toma la estación San Roque como foco de lluvia para los cálculos que serán efectuados en la siguiente sección. Finalmente, es importante resaltar que, según las valoraciones y comparativos realizados sobre la estación San Roque (ver Tabla 5.1.5.22), se opta con el fin de mantener resultados conservadores, mantener las precipitaciones máximas que fueron presentadas en el EIA del 2015 (ver Tabla 5.1.5.28).

Tabla 5.1.5.28 Precipitaciones para diferentes periodos de retorno en la estación San Roque.

Tr=2,33	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
125	143	158	177	191	205

Fuente: Integral S.A., 2025

- Caudales máximos

Luego de valorar los insumos relacionados con: tiempos de concentración (Tc), usos del suelo, coeficientes de escorrentía, precipitaciones máximas y curvas IDF; fueron aplicados los métodos de Williams y Hann, el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.) y el Método Racional para calcular los caudales máximos sobre las cuencas sin instrumentalización (ver resultados en Tabla 5.1.5.29). Es de precisar que los valores finalmente adoptados para cada hoya hidrográfica (ver Tabla 5.1.5.30) se seleccionaron bajo los siguientes criterios: (1) Para cuencas con áreas menores a los 3 km² se asumieron los datos que son estimados mediante el Método Racional, y (2) Sobre las cuencas con áreas mayores a los 3 km² se adoptó el promedio de las otras dos metodologías -S.C.S y W&H-. Se resalta que los datos y análisis efectuados se presentan en su totalidad en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Max.

Tabla 5.1.5.29 Estimación de caudales máximos por metodología y periodo de retorno.

ID Cuenca	Caudal por el método racional (m^3/s)						Caudal por el método del SCS (m^3/s)						Caudal por el método de W&H (m^3/s)					
	2,33	5	10	25	50	100	2.33	5	10	25	50	100	2.33	5	10	25	50	100
Qda. Topacio	30,91	35,51	39,26	43,99	47,50	50,99	26,23	33,76	40,28	48,81	55,31	61,90	35,81	46,00	54,64	65,88	74,41	83,01
Qda. El Banco	16,69	19,17	21,20	23,75	25,65	27,53	13,55	17,48	20,92	25,43	28,88	32,37	18,78	24,22	28,85	34,88	39,46	44,09
Qda. San Antonio	21,54	24,74	27,36	30,65	33,10	35,53	18,84	24,20	28,78	34,75	39,31	43,91	23,61	30,17	35,71	42,91	48,37	53,90
Qda. Guacas	154,18	177,13	195,82	219,43	236,95	254,34	172,81	215,08	250,44	296,02	330,37	364,82	231,76	288,18	335,24	395,71	441,14	486,61
Qda. La Colorada	26,08	29,96	33,12	37,11	40,08	43,02	20,73	26,64	31,68	38,27	43,29	48,36	27,81	35,56	42,11	50,63	57,09	63,59
Qda. La Maria	16,70	19,19	21,21	23,77	25,67	27,55	15,96	19,93	23,25	27,55	30,78	34,04	18,29	22,85	26,66	31,57	35,27	38,98
Qda. El Torito	5,12	5,88	6,50	7,28	7,86	8,44	3,06	4,11	5,02	6,23	7,17	8,15	4,10	5,52	6,75	8,39	9,65	10,93
Qda. La Palestina	77,95	89,55	99,00	110,94	119,79	128,58	79,20	99,70	116,94	139,28	156,17	173,16	98,42	123,84	145,29	173,04	193,99	215,03

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.30 Caudales máximos adoptados para las cuencas hidrográficas de línea base.

Nombre cuenca	Caudal (m³/s)					
	2,33	5	10	25	50	100
Qda. Topacio	31,02	39,88	47,46	57,34	64,86	72,45
Qda. El Banco	16,69	19,17	21,20	23,75	25,65	27,53
Qda. San Antonio	21,54	24,74	27,36	30,65	33,10	35,53
Qda. Guacas	202,29	251,63	292,84	345,87	385,76	425,72
Qda. La Colorada	26,08	29,96	33,12	37,11	40,08	43,02
Qda. La Maria	16,70	19,19	21,21	23,77	25,67	27,55
Qda. El Torito	5,12	5,88	6,50	7,28	7,86	8,44
Qda. La Palestina	88,81	111,77	131,12	156,16	175,08	194,10

Fuente: Integral S.A., 2025

d. Caudales Mínimos

A partir de la serie de los caudales mínimos anuales de la estación *Caramanta [23087160]* (ver Figura 5.1.5.44), se realizó un análisis de frecuencia mediante el uso de las distribuciones probabilísticas Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson; las cuales a su vez fueron graficadas en papeles probabilísticos Gumbel, Log Gumbel, y Normal, Log Normal. Se destaca que los estimativos efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGICA_5_03_AF_ Qmin -.

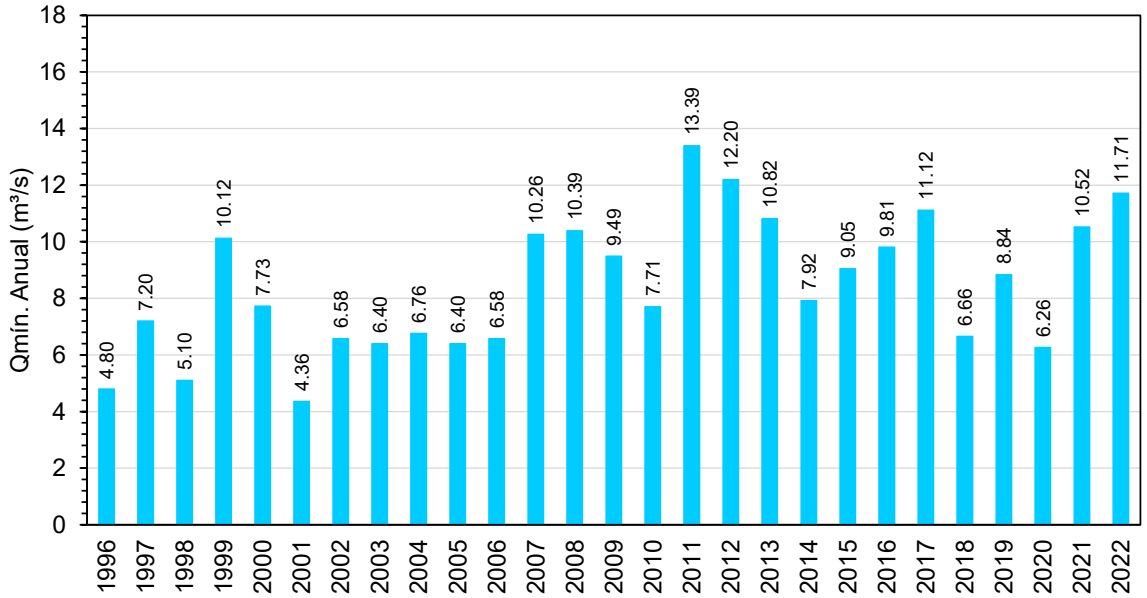


Figura 5.1.5.44 Caudales mínimos anuales en la estación Caramanta [23087160].

Fuente: Integral S.A., 2025

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que la distribución que presenta el mejor ajuste a los datos es la distribución Log Gumbel (ver Figura 5.1.5.45). En este contexto se presentan en la Tabla 5.1.5.31 los valores de caudales mínimos asociados a los periodos de retorno de: 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000 y 1 millón de años.

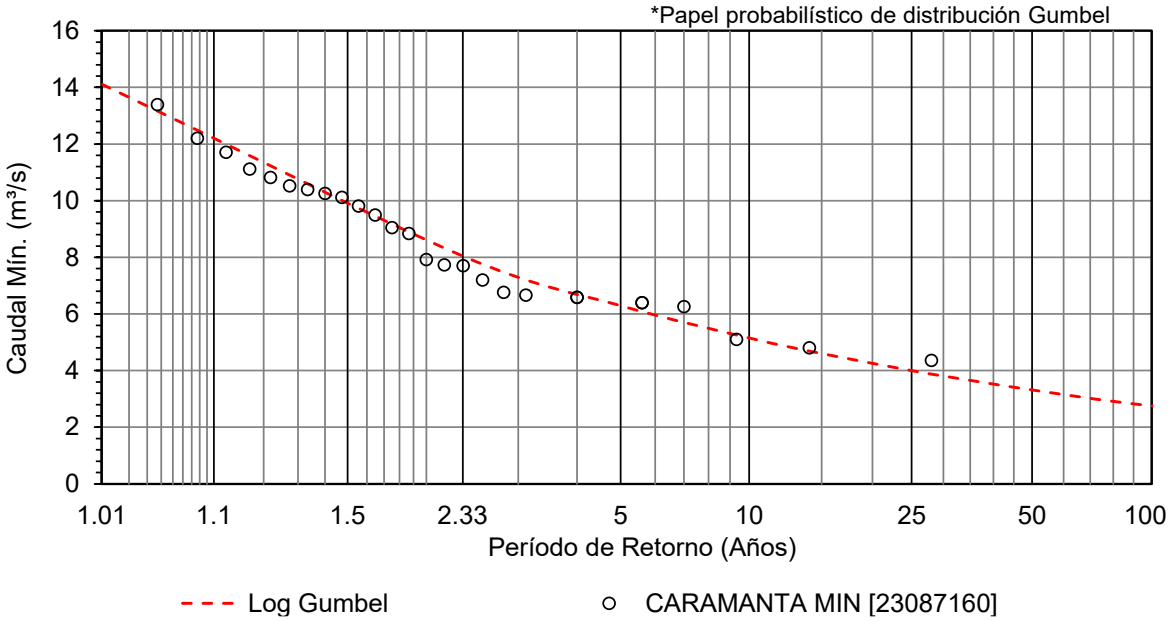


Figura 5.1.5.45 Curva de frecuencia de caudales mínimos - Estación Caramanta.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.31 Caudales mínimos estimados para la estación Caramanta [23087160].

Periodo de retorno (años)	Caudal mínimo (m³/s)
2.33	8,04
5	6,29
10	5,15
25	4,00
50	3,31
100	2,75
500	1,79
1.000	1,49
1’000.000	0,24

Fuente: Integral S.A., 2025

Para las cuencas hidrográficas no instrumentadas, donde no se cuentan con registros de caudales (tributarios del río Nus) se recurrió a las siguientes metodologías: (1) Enfoque de regionalización de EPM, (2) Protocolo propuesto por CORNARE, y (3) Técnicas de transferencia de información basadas en la anterior caracterización hecha para la estación Caramanta. Los resultados obtenidos se exponen desde la Tabla 5.1.5.32 hasta la Tabla 5.1.5.34. Se aclara que los análisis efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Min.

Tabla 5.1.5.32 Caudales mínimos según las ecuaciones de regionalización de EPM (2005).

Corriente	Caudales mínimos (m^3/s)							
	1.01	2.33	5	10	20	25	50	100
Qda. Topacio	0,149	0,068	0,056	0,050	0,045	0,044	0,040	0,037
Qda. El Banco	0,070	0,031	0,026	0,023	0,021	0,020	0,018	0,017
Qda. San Antonio	0,073	0,034	0,028	0,025	0,023	0,022	0,021	0,019
Qda. Guacas	1,892	0,846	0,694	0,610	0,548	0,531	0,485	0,447
Qda. La Colorada	0,076	0,035	0,029	0,025	0,023	0,022	0,020	0,019
Qda. La Maria	0,038	0,018	0,015	0,014	0,012	0,012	0,011	0,011
Quebrada Torito	0,010	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
Qda. La Palestina	0,464	0,214	0,177	0,157	0,142	0,138	0,127	0,118

Nota: Los caudales mínimos que son presentados corresponden al promedio de los métodos I, III, IIIA y IIIB de EPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.33 Caudales mínimos según parametrización de CORNARE.

Corriente	Caudales mínimos (m^3/s)							
	1.01	2.33	5	10	20	25	50	100
Qda. Topacio	0,190	0,080	0,064	0,055	0,048	0,046	0,042	0,037
Qda. El Banco	0,098	0,032	0,023	0,018	0,014	0,013	0,010	0,007
Qda. San Antonio	0,090	0,032	0,024	0,020	0,016	0,015	0,013	0,011
Qda. Guacas	3,649	1,061	0,686	0,477	0,324	0,282	0,168	0,073
Qda. La Colorada	0,083	0,033	0,026	0,022	0,019	0,018	0,016	0,014
Qda. La Maria	0,037	0,017	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009
Quebrada Torito	0,009	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Qda. La Palestina	0,578	0,247	0,199	0,172	0,153	0,147	0,133	0,120

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.34 Caudales mínimos según la metodología de transposición de información.

Corriente	Caudales mínimos (m^3/s)							
	1.01	2.33	5	10	20	25	50	100
Qda. Topacio	0,183	0,105	0,082	0,067	0,060	0,055	0,043	0,036
Qda. El Banco	0,077	0,044	0,034	0,028	0,025	0,023	0,018	0,015
Qda. San Antonio	0,096	0,055	0,043	0,035	0,031	0,029	0,022	0,019
Qda. Guacas	3,387	1,930	1,509	1,236	1,104	1,020	0,795	0,660
Qda. La Colorada	0,097	0,055	0,043	0,035	0,032	0,029	0,023	0,019
Qda. La Maria	0,045	0,026	0,020	0,016	0,015	0,014	0,011	0,009
Quebrada Torito	0,011	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002
Qda. La Palestina	0,605	0,345	0,270	0,221	0,197	0,182	0,142	0,118

Fuente: Integral S.A., 2025

Concluidas las valoraciones hechas mediante los diferentes métodos aplicados, se observó que las diferencias entre los tres (3) enfoques oscilan alrededor de un 30%. Este hallazgo condujo a asumir como valores mínimos de caudal para las cuencas no instrumentadas el promedio aritmético asociado a las magnitudes de todos los esquemas teóricos (ver resultados en Tabla 5.1.5.35). Se aclara que la totalidad de los caudales mínimos que fueron estimados se incluyen en el anexo denominado como: ANEXOS_ CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Min.

Tabla 5.1.5.35 Caudales mínimos asumidos para las principales cuencas no instrumentadas.

Corriente	Caudales mínimos (m^3/s)							
	1.01	2.33	5	10	20	25	50	100
Qda. Topacio	0,174	0,084	0,067	0,057	0,051	0,048	0,042	0,037
Qda. El Banco	0,082	0,036	0,028	0,023	0,020	0,019	0,015	0,013
Qda. San Antonio	0,086	0,040	0,032	0,027	0,023	0,022	0,019	0,016
Qda. Guacas	2,976	1,279	0,963	0,774	0,658	0,611	0,483	0,393
Qda. La Colorada	0,085	0,041	0,033	0,028	0,025	0,023	0,020	0,017
Qda. La Maria	0,040	0,020	0,016	0,014	0,013	0,012	0,010	0,009
Quebrada Torito	0,010	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
Qda. La Palestina	0,549	0,268	0,215	0,183	0,164	0,156	0,134	0,119

Fuente: Integral S.A., 2025

e. Caudal ambiental

La estimación del caudal ambiental se realizó mediante diferentes metodologías. Para la caracterización de las cuencas asociadas a captaciones, se aplicó la metodología de Grecco (EPM). En el caso de las hoyas vinculadas a línea base y susceptibles de intervención, se utilizaron las metodologías propuestas por el Ministerio de Ambiente (2014), específicamente caudal por reducción ambiental y percentil 85. Se aclara que la totalidad de los caudales ambientales que fueron estimados se incluyen en los anexos denominados como: ANEXOS_ CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb_Capt y 5_02_C_Q_Med-Amb.

IV. Metodología de Grecco para la estimación del caudal de garantía ambiental

En este numeral se presenta la estimación del caudal de garantía ambiental según la metodología Grecco. Dicho enfoque será aplicado para las cuencas asociadas a las captaciones que son conceptualizadas para el proyecto minero (ver Capítulo 7. Demanda). Es de aclarar que en el Capítulo 2. Generalidades del proyecto, se presenta detalladamente la metodología que será aplicada a lo largo de esta sección.

i. Oferta hídrica sobre las fuentes de interés

- **Análisis de datos hidrológicos disponibles**

Para la evaluación del caudal de garantía ambiental en los tramos a intervenir sobre el río Nus y las quebradas Guacas, El Balsal y La Negra (donde el proyecto realizará captación de aguas superficiales), se requirió del uso de la información hidrológica que fue presentada en los anteriores numerales. En este caso se utilizó la serie de caudales medios diarios de la estación *Caramanta [23087160]* y se aplicó el método de transferencia de información sobre aquellas cuencas que son objeto de análisis (ver Tabla 5.1.5.36). A partir de este procedimiento, se determinó el caudal correspondiente al percentil 95 de excedencia (Q95%) para cada uno de los meses del año (ver resultados en Tabla 5.1.5.37, Tabla 5.1.5.37). Se aclara que el compendio de este proceso se consigna en el anexo denominado como: ANEXOS_ CARACTERIZACION_ HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb_Capt).

Tabla 5.1.5.36 Características de las cuencas que son objeto de estudio aplicando la metodología Grecco.

Cuenca		CC22	CC19	CC18	CC23	CC16	CC15	CC21	CC20	CC17
Fuente hídrica		Qda. Guacas	Qda. Guacas	Qda. Guacas	Qda. Guacas	Río Nus	Río Nus	Qda. La Negra	Qda. El Balsal	Río Nus
Área de cuenca (km^2)		62,84	63,88	59,01	64,08	200,07	196,02	1,81	0,12	273,90
Nombre de captación		CC22	CC19	CC18	CC23	CC16	CC15	CC21	CC20	CC17
Coordenadas	Este	4787701,96	4788356,32	4786598,99	4788624,41	4788452,95	4787811,54	4791275,62	4788707,20	4791796,62
	Norte	2277057,27	2277983,17	2276203,72	2278200,95	2278828,86	2279471,01	2275183,97	2276753,54	2277993,91

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.37 Percentiles 95 de excedencia para cada sitio de análisis (m3/s).

Temporalidad	CC22	CC19	CC18	CC23	CC16	CC15	CC21	CC20	CC17
Enero	1,785	1,809	1,694	1,814	5,463	5,372	0,041	0,003	7,488
Febrero	1,784	1,807	1,692	1,812	5,458	5,366	0,041	0,003	7,480
Marzo	2,254	2,284	2,138	2,290	6,896	6,781	0,052	0,003	9,452
Abril	3,038	3,079	2,883	3,087	9,297	9,141	0,070	0,005	12,743
Mayo	4,004	4,057	3,799	4,067	12,252	12,046	0,092	0,006	16,792
Junio	3,406	3,451	3,232	3,460	10,421	10,247	0,078	0,005	14,284
Julio	3,069	3,110	2,912	3,118	9,391	9,233	0,071	0,005	12,871
Agosto	2,733	2,770	2,593	2,777	8,364	8,224	0,063	0,004	11,463
Septiembre	4,027	4,081	3,821	4,091	12,322	12,116	0,093	0,006	16,889
Octubre	4,566	4,627	4,332	4,638	13,71	13,737	0,105	0,007	19,149
Noviembre	4,351	4,409	4,128	4,420	13,314	13,091	0,100	0,007	18,248
Diciembre	2,833	2,871	2,688	2,878	8,669	8,523	0,065	0,004	11,881
Anual	1,892	1,918	1,796	1,923	5,791	5,694	0,044	0,003	7,937

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Calificación de aspectos ambientales evaluados en la metodología

- **Longitud del río con drástica reducción de caudal**

Dado que las captaciones planteadas para el proyecto sustraen magnitudes inferiores a los 50 l/s, se realizó inicialmente una relación entre el caudal medio y el caudal que es captado de cada cuenca. Con base en esta aproximación, se asumió una longitud de impacto inferior a los 615 m (calificativo de 0) para aquellas hoyas hidrográficas que presentan una disminución de flujo inferior al 10%. Este caso que fue evidenciado para las cuencas CC15, CC16 y CC17.

Para aquellas cuencas en las que se superó el umbral anteriormente mencionado, se tomó como longitud de afectación el tramo que se origina desde el punto de captación hasta la confluencia con el subsiguiente cuerpo de agua que posea un orden de Horton igual o superior a la quebrada que es objeto de análisis. Bajo este concepto se observó que: (A) Las cuencas CC20 y CC23 se encuentra en un rango <615 m -calificativo de 0-, (B) Las cuencas CC19 y CC21 se encuentran en un rango comprendido entre los 1.229 m y 1.844 m -calificativo de 1-, (C) La cuenca CC22 se encuentra ubicada dentro del rango de los 1.844 m y los 2.458 m -calificativo de 2-, y (D) La cuenca CC18 se encuentra en el rango de los 3.687 m y los 4.302 m -calificativo de 5-. Las relaciones entre rangos de distancias y sus clasificaciones según la metodología Grecco se presentan en la Tabla 5.1.5.38.

Tabla 5.1.5.38 Calificación relacionada con la longitud de impacto ante una disminución drástica de caudal (metodología Grecco).

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Clasificación
Longitud de cauce con caudales drásticamente reducidos	Medición Cartográfica y curva de acumulación de caudales	Metros	< 615		0
			1.229	1.844	1
			1.844	2.458	2
			2.458	3.073	3
			3.073	3.687	4
			3.687	4.302	5
			4.302	4.916	6
			4.916	5.531	7
			5.531	6.145	8
			6.145	6.760	9
			> 6.760		10

Fuente: Grecco, 2012

- **Calidad fisicoquímica de las aguas que caracterizan el tramo afectado**

Como una herramienta metodológica para la determinación de la calidad de las aguas de las corrientes hídricas muestreadas, en el presente estudio se calculó el Índice de Calidad de Aguas (ICA) desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2013). En el cual se relaciona la mayor cantidad de parámetros (como oxígeno disuelto, pH, DBO_5, temperatura y sólidos totales, etc.), asignándole a cada uno un porcentaje de acuerdo con la cantidad de parámetros disponibles para evaluar que va de 5 a 6 parámetros. Este índice es de gran utilidad para establecer la calidad del agua de las corrientes hídricas, debido a que identifica de manera cuantitativa y cualitativa, la potencialidad para usos agropecuarios y de consumo de los cuerpos de agua evaluados.

La información utilizada para determinar el índice ICA se tomó del Capítulo 5.1.5.1 Caracterización calidad del agua.

En la Tabla 5.1.5.39 se presenta la asignación de los valores ICA para las fuentes dónde se localizarán las captaciones.

Tabla 5.1.5.39 Índice de calidad del agua en las estaciones de muestreo.

Captación	Fuente	ICA	Calificación
CC15	Rio Nus	0,65	Regular
CC16	Rio Nus	0,77	Aceptable
CC17	Rio Nus	0,77	Aceptable
CC18	Quebrada Guacas	0,69	Regular
CC19	Quebrada Guacas	0,62	Regular
CC20	Quebrada El Balsal	0,35	Mala
CC21	Quebrada La Negra	0,79	Aceptable
CC22	Quebrada Guacas	0,69	Regular
CC23	Quebrada Guacas	0,62	Regular

Fuente: SGS, 2025, adaptado por Integral S.A., 2025

Con base en los cálculos realizados del Índice de Calidad del Agua (ICA), a partir de los resultados de los parámetros analizados en las fuentes hídricas dónde se realizarán las captaciones, se realiza la identificación con base en el descriptor utilizado por (Grecco & Salazar, 2012) en dónde para el Rio Nus se presenta una calidad de agua de aceptable a regular esto puede deberse a una mineralización media por los valores de conductividad y valores de DQO que señalan una contaminación, por su parte la Quebrada Guacas presenta una calidad del agua regular lo cual puede deberse a los valores de % de Saturación de Oxígeno, en cuanto a la Quebrada El Balsal presenta una calidad de mala lo cual se ve reflejado por los valores de % de saturación de oxígeno y conductividad, por su parte la Quebrada La Negra presenta una calidad aceptable.

El Rio Nus en dónde se localizará las captaciones CC15, CC16 y CC17 presenta una ponderación de 7 y 4, dando indicios que la calidad física y química del agua estaría en un estado “buena” para las dos primeras y “regular” para la última respectivamente (véase la Tabla 5.1.5.40)

Tabla 5.1.5.40 Calificación del Índice de calidad del agua para las captaciones CC15, CC16 y CC17 (Rio Nus).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua de la Rio Nus	Índice de calidad del agua	Excelente	91-100	10
		Buena	86 - 90	9
			81- 85	8
			76 – 80	7
			71 – 75	6
		Regular	66 - 70	5
			61 – 65	4
			56 - 60	3
			51 - 55	2
		Mala	26 - 50	1
		Pésima	0 - 25	0

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

La Quebrada Guacas en dónde se localizará las captaciones CC18, CC19, CC22 y CC23 presenta una ponderación de 5 (CC18; CC22) y 4 (CC19; CC23), dando indicios que la calidad física y química del agua estaría en un estado “regular” respectivamente (véase Tabla 5.1.5.41).

Tabla 5.1.5.41 Calificación del Índice de calidad del agua para las captaciones CC18, CC19, CC22 y CC23 (Quebrada Guacas).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua de la Quebrada Guacas	Índice de calidad del agua	Excelente	91-100	10
		Buena	86 - 90	9
			81- 85	8
			76 – 80	7
			71 – 75	6
		Regular	66 - 70	5
			61 – 60	4
			56 - 60	3
			51 - 55	2
		Mala	26 - 50	1
		Pésima	0 - 25	0

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Como se muestra en la Tabla 5.1.5.42, el ponderador para la Quebrada El Balsal en dónde se localizará la captación CC20 presenta el valor de 1, dando indicios que la calidad física y química del agua estaría en un estado “mala”.

Tabla 5.1.5.42 Calificación del Índice de calidad del agua para la captación CC20 (Quebrada El Balsal).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua de la Quebrada El Balsal	Índice de calidad del agua	Excelente	91-100	10
		Buena	86 - 90	9
			81- 85	8
			76 – 80	7
			71 – 75	6
		Regular	66 - 70	5
			61 – 60	4
			56 - 60	3
			51 - 55	2
		Mala	26 - 50	1
		Pésima	0 - 25	0

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

La ponderación para la Quebrada La Negra en dónde se localizará la captación CC21 presenta un valor de 7, dando indicios que la calidad física y química del agua estaría en un estado “buena” (véase Tabla 5.1.5.43).

Tabla 5.1.5.43 Calificación del Índice de calidad del agua para la captación CC21 (Quebrada La Negra).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua de la Quebrada La Negra	Índice de calidad del agua	Excelente	91-100	10
		Buena	86 - 90	9
			81- 85	8
			76 – 80	7
			71 – 75	6
		Regular	66 - 70	5
			61 – 60	4
			56 - 60	3
			51 - 55	2
		Mala	26 - 50	1
		Pésima	0 - 25	0

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

- **Demanda de agua para la dilución de contaminantes en el sector afectado**

Para definir los valore de DQO sobre las fuentes hídricas, se utilizaron los resultados de las campañas de monitoreo que se especifican en el capítulo 5.1.5.1 de caracterización.

Los valores obtenidos en las fuentes hídricas de análisis van de <25 mg/L a 54,35 mg/L, en dónde se identifica que los cuerpos de agua se encuentran en un rango de aceptable a contaminada dado que valores mayores 20 mg/L y menores o iguales los 40 mg/L presentan indicios de contaminación, y son aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente, mientras que los valores menores a 40 mg/L y mayores o iguales a 200 mg/L presentan contaminación y son aguas superficiales que con descargas de aguas residuales crudas (Conagua, 2015). En la Tabla 5.1.5.44 se presentan los valores de DQO identificados sobre las fuentes hídricas dónde se realizarán las captaciones.

Tabla 5.1.5.44 Concentraciones de DQO identificadas en los cuerpos de agua de análisis.

Captación	Fuente	DQO (mg/L)
CC15	Rio Nus	54,35
CC16	Rio Nus	< 25
CC17	Rio Nus	< 25
CC18	Quebrada Guacas	< 25
CC19	Quebrada Guacas	26,75
CC20	Quebrada El Balsal	< 25
CC21	Quebrada La Negra	< 25
CC22	Quebrada Guacas	< 25
CC23	Quebrada Guacas	26,75

Nota: El signo "<" hace referencia a que el valore está por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada por el laboratorio.

Fuente: SGS, 2025, adaptado por Integral S.A., 2025

De acuerdo con lo anterior y según los criterios de la metodología CGA-EPM (Grecco & Salazar, 2012), de la Tabla 5.1.5.45 a la Tabla 5.1.5.48 se presentan las calificaciones para el Rio Nus, y las Quebradas Guacas, El Balsal y La Negra.

Para el rio Nus queda en ponderación de 10 y de 8, la Quebrada Guacas en ponderación de 9 y de 8, para la Quebrada El Balsal en ponderación 8 y la Quebrada La Negra en ponderación 8.

Tabla 5.1.5.45 Calificación de la DQO para el rio Nus (CC15, CC16 y CC17).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Determinación de la demanda química de oxígeno DQO	mg/L	0	3	0
			3	6	1
			6	9	2
			9	12	3
			12	15	4
			15	18	5
			18	21	6
			21	24	7
			24	27	8
			27	30	9
			>30		10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.46 Calificación de la DQO para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Determinación de la demanda química de oxígeno DQO	mg/L	0	3	0
			3	6	1
			6	9	2
			9	12	3
			12	15	4
			15	18	5
			18	21	6
			21	24	7
			24	27	8
			27	30	9
			>30		10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.47 Calificación de la DQO para la Quebrada El Balsal (CC20).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Determinación de la demanda química de oxígeno DQO	mg/L	0	3	0
			3	6	1
			6	9	2
			9	12	3
			12	15	4
			15	18	5
			18	21	6
			21	24	7
			24	27	8
			27	30	9
			>30		10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.48 Calificación de la DQO para la Quebrada La Negra (CC21).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Determinación de la demanda química de oxígeno DQO	mg/L	0	3	0
			3	6	1
			6	9	2
			9	12	3
			12	15	4
			15	18	5
			18	21	6
			21	24	7
			24	27	8
			27	30	9
			>30		10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

- **Índice de integridad biótica de peces**

Para determinar la calidad del agua de acuerdo con la estructura de la comunidad de peces y describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente se utilizó la metodología propuesta por Grecco et al, (2012), que integra diferentes atributos de las comunidades de peces. El índice de integridad biótica es la suma de los puntajes de cada variable, dividida por el número de variables. La calificación del IIB de peces se calcula a partir de los valores definidos en la Tabla 5.1.5.49

Tabla 5.1.5.49 Calificación del Índice de Integridad Biótica de Peces.

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor		Rango		Clasificación
Índice de Integridad biótica de peces	Suma de los puntajes de cada variable, dividida por el número de variables.	0 – 0,3	Baja integridad biótica de los peces	0		0
				0,01	0,1	1
				0,11	0,2	2
				0,21	0,3	3
		0,31 – 0,6	Moderada integridad de los peces	0,31	0,4	4
				0,41	0,5	5
				0,51	0,6	6
		0,61 - 1	Alta integridad biótica de los peces	0,61	0,7	7
				0,71	0,8	8
				0,81	0,9	9
				> 0,9		10

Fuente: Grecco, 2012

De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 5.1.5.50 se presentan los resultados del Índice de integridad biótica para la comunidad de peces, en general se observa que en todas las estaciones la calidad del agua presenta una integridad moderada para la comunidad de peces. Este resultado permite inferir a su vez que todos los sitios de captación presentan un estado ecológico moderado para esta comunidad.

Para definir cada uno de los índices, se utilizaron los resultados hidrobiológicos presentados en el capítulo 5.2.2.1 de ecosistemas acuáticos.

Tabla 5.1.5.50 Calificación del índice de integridad biótica de peces.

Captación	Puntaje del IIB_{PECES}	Puntaje	Ponderador	Interpretación
CC20	0,31 - 0,6	0,511	6	Moderada integridad de los peces
CC18		0,467	5	
CC19		0,422	5	
CC15		0,422	5	
CC22		0,467	5	
CC23		0,422	5	
CC16		0,378	4	
CC17		0,378	4	
CC21		0,378	4	

Fuente: Integral S.A., 2025

Si bien los reportes aquí consignados corresponden a dos campañas de muestreo, estos no deben ser considerados definitivos y concluyentes, y más aún, ser utilizados para determinar el estado trófico del sistema y evaluar la estructura de la comunidad debido a que existen factores espaciales y temporales que influyen de manera importante sobre la composición y estructura del ensamble y sobre los resultados de dichos estimadores.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que los sitios de captación presentan un índice de integridad “moderada”, o “estado ecológico moderado para esta comunidad” (Grecco y Salazar, 2012), y obteniendo un valor ponderado entre 4 y 6 (véase la Tabla 5.1.5.50).

- **Presencia de especies acuáticas amenazadas o en peligro de extinción**

Esta variable determina la presencia o ausencia de especies de organismos acuáticos amenazados o en peligro de extinción. El hecho de identificar al menos una especie amenazada, que realice migraciones o se encuentre en peligro de extinción, calificará esta variable con el mayor puntaje posible de asignar y por lo tanto con un porcentaje de caudal en calidad de Garantía Ambiental equivalente a dicho puntaje.

Partiendo de que esta variable se calcula a partir de la presencia de especies icticas en alguna de las categorías de conservación del “Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia”, Mojica J. I., Castellanos C., Usma S. y Álvarez R. (eds), 2012; y que un porcentaje alto en este parámetro indica alto grado de intervención humana o no, (véase la Tabla 5.1.5.51) se procedió con la validación de las especies registradas en los sitios de captación.

Tabla 5.1.5.51 Calificación de especies que migran están amenazada o en peligro.

Aspecto ambiental	Descriptor	Clasificación
Especies acuáticas que realizan migraciones, son endémicas, amenazadas o se encuentran en peligro de extinción	Especies con amplia distribución	0
	Especies amenazadas o en peligro de extinción	10

Fuente: Grecco, 2012

En la Tabla 5.1.5.52 se presentan las categorías de amenaza de las especies colectadas en el área de influencia de acuerdo con las categorías establecidas en el Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012 (Mojica, Usma, & Lasso, 2012). Para definir las

categorías de amenaza, se utilizaron los resultados hidrobiológicos presentados en el capítulo 5.2.2.1 de ecosistemas acuáticos.

Tabla 5.1.5.52 Categoría de amenaza de las especies de peces colectadas en ellos sitios de captación.

Especie	Categoría de amenaza (Libro rojo)
Ancistrus sp.	No Aplica
Andinoacara latifrons	No Aplica
Astroblepus sp.	No Aplica
Brycon sp.	No Aplica
Chaetostoma sp.	No Aplica
Geophagus steindachneri	No Aplica
Hyphessobrycon natagaima	No Aplica
Megalonema xanthum	No Aplica
Poecilia caucana	No Aplica
Poecilia reticulata	No Aplica
Trichomycterus sp.	No Aplica

Fuente: Integral S.A., 2025

Según los análisis realizados no se presentan especies en los sitios de captación con posibilidad de amenaza, razón por la cual se aplica un puntaje de 0.

- **Calidad biológica del agua**

El análisis estructural de las comunidades bénticas se usa a menudo para determinar la calidad del agua, ya que los taxones que las constituyen presentan largos ciclos de vida y escaso poder de locomoción, lo cual permite la acción directa y continua de sustancias que alteran las condiciones del medio acuático donde viven. Un organismo es indicador de la calidad del agua, cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior al resto de los organismos con los que comparte el hábitat (Vega, E. et al 1989). Los macroinvertebrados acuáticos han sido muy aceptados como uno de los componentes más adecuados para el monitoreo biológico por ser abundantes, de amplia distribución y fácil colecta, por lo que reflejan las condiciones locales del medio, presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo (extremadamente sensibles a perturbaciones), proporcionan información para integrar los efectos acumulativos, presentan un patrón de estímulo-respuesta ante las alteraciones físico- químicas y responden rápidamente a tensores ambientales (Rosenberg & Resh, 1993).

El índice de Integridad biótica de la calidad del agua fue estimado a partir del índice BMWP el cual es calculado con base en la presencia de las familias de macroinvertebrados acuáticos que son bioindicadoras de la calidad del agua (véase la Tabla 5.1.5.53).

Tabla 5.1.5.53 Calificación del BMWP'/Col.

Aspectos Ambientales	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad biológica del agua	Valor del índice BMWP/Col	Muy crítica	<16	0
		Crítica	16-35	1
		Dudosa	36-60	2
		Aceptable	61-70	3
			71-80	4

Aspectos Ambientales	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
			81-90	5
			91-100	6
		Buena	101-110	7
			111-120	8
		Muy buena	121-130	9
			>130	10

Fuente: Grecco, 2012

En la Tabla 5.1.5.54 se muestran los resultados del análisis BMWP/Col. Los cuales se definieron utilizaron los resultados hidrobiológicos presentados en el capítulo 5.2.2.1 de ecosistemas acuáticos. Los sitios de captación CC20, CC18 y CC22 indican valores de muy buena calidad de agua, seguido de los sitios CC19 y CC23, esto concuerda con los taxones especialistas encontrados allí, los cuales son susceptibles a los cambios ecosistémicos, a la intervención antrópica y a las fluctuaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto. En calidad aceptable se encuentran el sitio CC15 indicando aguas ligeramente contaminadas. Allí se encuentran individuos generalistas asociados a ambientes con mayor intervención antrópica y con mayores adaptaciones para enfrentar el cambio. Los demás sitios presentan calidad del agua entre dudosa y muy crítica, lo que supone aguas con alto niveles de contaminación.

Tabla 5.1.5.54 Índice de integridad biótica obtenido para la comunidad bentónica.

Sitio Captación	BMWP/Col[1]	Ponderado	Descriptor
CC20	167	10	Muy buena
CC18	140	10	
CC22	140	10	
CC19	108	7	Buena
CC23	108	7	
CC15	61	3	Aceptable
CC16	44	2	Dudosa
CC17	27	1	Crítica
CC21	11	0	Muy crítica

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Índice biótico de la vegetación riparia**

La vegetación de ribera, también conocida como vegetación riparia, es un elemento fundamental de los ecosistemas naturales; en donde se desempeñan funciones esenciales, por ejemplo, la regulación del microclima y la estabilidad de los suelos aleñaos a los cauces.

En el proceso de elaboración del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación riparia (IBVeg Rip) asociado a cauces del proyecto gramalote, se analizaron las características ecofisiológicas de las comunidades vegetales vasculares que crecen asociadas a los bordes de los diferentes afluentes del proyecto, el índice se calculó para los nueve puntos de captación ya definido

Para obtener la información de campo se realizaron parcelas de muestreo que siguen el modelo tipo RAP de Gentry (1982), en donde para cada uno de los 9 puntos de captación se establecieron dos parcelas de 200m2. Las parcelas en el terreno se distribuyeron de forma paralela al cauce, así se pudo evaluar el gradiente en la riqueza de especies de la vegetación ripario. Las 18 parcelas establecidas fueron marcadas y georreferenciadas, en

ellas se registraron y midieron los árboles fustales (es decir, individuos con Diámetro a la altura de pecho - DAP mayor o igual a 10 cm). Estos árboles fueron marcados y se les midió el DAP, además se estimó su altura fustal y total; posteriormente, dentro de la parcela se delimitó una subparcela de 100 m2, donde se midió y se marcó los individuos en categoría de latizal (individuos con DAP entre 5,0 a 9,9 cm) se les registró el DAP y se estimó su altura total. Finalmente, se delimitó una subparcela de 4m2 (2 x 2m) donde se hizo el registro de los individuos brinzales (plantas herbáceas, arbustos y regeneración natural de árboles), para esta comunidad se cuantificaron el número de individuos registrados por cada morfoespecie diferenciada

Para determinar la biomasa que se encuentra en los detritos y la hojarasca, se estableció aleatoriamente una cuadrícula de 1m2 (1x1m) dentro de cada parcela. En esta cuadrícula, fue recolectada la hojarasca, las ramas y los troncos. Las muestras de cada punto fueron almacenadas en bolsas plásticas y etiquetadas con el código correspondiente a la parcela. Después, fueron trasladadas al laboratorio y secadas para medir su peso seco, lo cual representa la biomasa seca

Para realizar el cálculo cualitativo del índice biótico de la vegetación primaria, se clasificaron las especies según el tipo de hábitat en el que viven (acuático o terrestre). Luego, se clasificaron de acuerdo con el grupo funcional al que pertenecen en función de sus características ecofisiológicas. Para ambas clasificaciones, se utilizaron los parámetros establecidos por Grecco y Salazar (2012) en su índice de vegetación riparia, como se puede ver en la Tabla 5.1.5.55.

Tabla 5.1.5.55 Métricas de las plantas vasculares empleadas para la construcción del IIBVegRip.

Métrica	Tipo	Descripción
Especies riparias	Estructura de la comunidad	Número de especies riparias (plantas no acuáticas que requieren agua freática para su desarrollo, plantas freatóficas). Aumenta el número en sitios conservados.
Especies acuáticas	Estructura de la comunidad	Número de especies acuáticas (plantas que crecen en el agua o en suelos saturados). Aumenta el número en sitios conservados).
% Especies anuales	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas anuales. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones no perennes.
% Especies exóticas	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas no nativas. Considera además especies nativas introducidas por el hombre en una cobertura determinada. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones foráneos.
% Especies ruderales	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas que colonizan ambientes disturbados. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones resistentes a la alteración.
% Especies sensitivas	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas sensibles al disturbio. Se asume que estas especies sensibles son de distribución restringida y que su cobertura se reduce en ambientes disturbados.
% Especies tolerantes	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de plantas tolerantes al disturbio. Se asume que estas especies son de amplia distribución y que su cobertura se incrementa en ambientes alterados.

Métrica	Tipo	Descripción
Biomasa	Proceso biológico	Cantidad promedio de gramos de materia orgánica seca por metro cuadrado de área en las parcelas muestreados en la zona riparia. Esta biomasa se incrementa a medida que el sitio es más alterado, pero se reduce en casos de deterioro extremo.

Fuente: Grecco y Salazar, 2012

Las variables del índice fueron valoradas para las especies de cada parcela (ver la Tabla 5.1.5.56), en este proceso, para hallar el porcentaje de especies anuales (EA), exóticas (EE), ruderales (ER), sensitivas (ES) y de tolerantes (ET) se estimó para cada grupo funcional la abundancia relativa de cada especie en las tres categorías de desarrollo muestreadas (fustal latizal y brinzal).

Tabla 5.1.5.56 Puntajes de las variables utilizadas.

Métrica	Puntaje 0	Puntaje 0,3	Puntaje 0,7	Puntaje 1
Especies riparias (EP)	0-5	6-15	16-30	> 30
Especies acuáticas (EQ)	0-1	2-3	4-5	> 5
% Especies anuales (EA)	>15%	12-15%	8-11%	< 8%
% Especies exóticas (EE)	>10%	8-10%	5-7%	<5%
% Especies ruderales (ER)	>15%	12-15%	8-11%	< 8%
% Especies sensitivas (ES)	<2%	3-10%	11-20%	>20%
% Especies tolerantes (ET)	>60%	40-60%	20-39%	<20%
Biomasa (B)	>801 o <100	451-800	201-450	100-200

Fuente: Grecco y Salazar, 2012

Con las variables calificadas se construyó el índice de vegetación riparia a partir de la siguiente Ecuación 5.5.

$$IIB_{VegRip} = (Puntaje\ EP + Puntaje\ EQ + Puntaje\ EA + Puntaje\ EE + Puntaje\ ER + Puntaje\ ES + Puntaje\ ET + Puntaje\ B)/8$$

Ecuación 5.5 Fórmula para el cálculo del índice de vegetación riparia.

El puntaje de cada variable del índice oscila entre 0,2 y 1 (los valores bajos corresponden a sitios donde la variable muestra un alto deterioro y los valores cercanos a 1, muestra los sitios donde hay una alta integridad ecológica). De esta forma, el índice de integridad biótica se obtiene mediante la suma de los puntajes de cada variable, dividida por el número de variables. De acuerdo con el puntaje obtenido con el IIBVegRip, la integridad biótica se podrá clasificar de la manera descrita en la Tabla 5.1.5.57.

Tabla 5.1.5.57 Interpretación del IIB de la vegetación riparia.

Puntaje del $IIB_{Veg\ Rip}$	Interpretación	Implicaciones Ecológicas
0 - 0,3	Baja integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico deficiente o malo para esta comunidad.
0,31 - 0,6	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico moderado para esta comunidad.
0,61 - 1	Alta integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico bueno o excelente para esta comunidad.

Fuente: Grecco y Salazar, 2012

Finalmente, los resultados del índice se califican mediante la utilización de los ponderadores respectivos que aparecen en la Tabla 5.1.5.58.

Tabla 5.1.5.58 Calificación del IIB de la vegetación riparia.

Aspectos ambientales	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Índice biótico de vegetación riparia	El índice oscila entre 0 y 1; cero para los sitios donde la variable demuestra deterioro y uno para sitio sin alteración	Estado ecológico deficiente o malo para esta comunidad	< 0,01		0
			0,01	0,1	1
			0,11	0,2	2
			0,21	0,3	3
		Estado ecológico moderado para esta comunidad	0,31	0,4	4
			0,41	0,5	5
			0,51	0,6	6
		Estado ecológico bueno o excelente para esta comunidad	0,61	0,7	7
			0,71	0,8	8
			0,81	0,9	9
			> 0,9		10

Fuente: Grecco y Salazar, 2012

- Grupo funcional de las especies

En la Tabla 5.1.5.59 se presenta la clasificación del grupo funcional de las especies registradas en el muestreo de acuerdo con las categorías propuestas por Grecco y Salazar (2012).

Tabla 5.1.5.59 Clasificación del Grupo funcional y hábitat de las especies del muestreo.

Especie	Grupo funcional	Hábitat
Aiouea montana	Tolerantes	Riparias
Baccharis trinitensis	Tolerantes	Riparias
Bactris gasipaes	Sensitivas	Riparias
Bellucia pentamera	Ruderal	Riparias
Calea prunifolia	Tolerantes	Riparias
Calliandra pittieri	Tolerantes	Riparias
Carludovica palmata	Tolerantes	Acuáticas
Cecropia peltata	Ruderal	Riparias
Cedrela odorata	Tolerantes	Riparias
Cespedesia spathulata	Ruderal	Riparias
Chromolaena odorata	Tolerantes	Riparias
Clethra revoluta	Sensitivas	Riparias
Clusia sp.1	Tolerantes	Riparias
Commelina sp.1	Tolerantes	Acuáticas
Cupania cinerea	Tolerantes	Riparias
Cyathea poeppigii	Sensitivas	Riparias
Cynodon dactylon	Anual	Acuáticas
Cyperus luzulae	Tolerantes	Acuáticas
Didymopanax morototoni	Sensitivas	Riparias
Echinochloa polystachya	Anual	Acuáticas
Eleutheranthera tenella	Tolerantes	Riparias
Erythrina poeppigiana	Tolerantes	Riparias
Erythroxylum sp.1	Tolerantes	Riparias
Ficus maxima	Tolerantes	Riparias
Gliricidia sepium	Tolerantes	Riparias
Gonzalagunia cornifolia	Sensitivas	Riparias
Guarea guidonia	Tolerantes	Riparias

Especie	Grupo funcional	Hábitat
Gynerium sagittatum	Anual	Acuáticas
Heliocarpus americanus	Tolerantes	Riparias
Ichnanthus pallens	Anual	Acuáticas
Inga spectabilis	Tolerantes	Riparias
Jacaranda copaia	Tolerantes	Riparias
Lacistema aggregatum	Sensitivas	Riparias
Leandra mexicana	Sensitivas	Riparias
Mimosa pigra	Tolerantes	Riparias
Myrsine latifolia	Ruderal	Riparias
Nectandra lineata	Tolerantes	Riparias
Ochroma pyramidale	Ruderal	Riparias
Otachyrium sp.1	Anual	Acuáticas
Peltaea sessiliflora	Tolerantes	Riparias
Persea caerulea	Tolerantes	Riparias
Phyllanthus acuminatus	Tolerantes	Riparias
Piper aduncum	Tolerantes	Riparias
Piptocoma discolor	Ruderal	Riparias
Protium macrophyllum	Sensitivas	Riparias
Psidium guajava	Tolerantes	Riparias
Renealmia aromatica	Tolerantes	Riparias
Siparuna sessiliflora	Sensitivas	Riparias
Spondias radlkolferi	Tolerantes	Riparias
Stachytarpheta cayennensis	Tolerantes	Riparias
Stylosanthes guianensis	Tolerantes	Riparias
Trema micranthum	Tolerantes	Riparias
Urera sp.1	Tolerantes	Riparias
Vernonanthura patens	Tolerantes	Riparias
Virola sebifera	Tolerantes	Riparias
Vismia baccifera	Ruderal	Riparias
Vismia macrophylla	Ruderal	Riparias
Xylopia aromatica	Ruderal	Riparias
Xylopia frutescens	Ruderal	Riparias
Zygia longifolia	Tolerantes	Riparias

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC15

En la Tabla 5.1.5.60 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC15.

Tabla 5.1.5.60 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC15.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	8,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	1,00	0,00
% Especies anuales (EA)	11,11	0,70
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	11,11	0,70
% Especies sensitivas (ES)	11,11	0,70
% Especies tolerantes (ET)	66,67	0,00
Biomasa (B)	51,80	0,00
IIBVegRip		0,43
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	

Métrica	Valor	Puntaje
Ponderado		5,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC16

En la Tabla 5.1.5.61 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC16.

Tabla 5.1.5.61 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC16.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	9,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	3,00	0,30
% Especies anuales (EA)	8,33	0,70
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	0,00	1,00
% Especies sensitivas (ES)	0,00	0,00
% Especies tolerantes (ET)	91,67	0,00
Biomasa (B)	59,10	0,00
IIB_{VegRip}		0,41
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		5,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC17

En la Tabla 5.1.5.62 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC17.

Tabla 5.1.5.62 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC17.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	8,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	4,00	0,70
% Especies anuales (EA)	25,00	0,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	8,33	0,70
% Especies sensitivas (ES)	0,00	0,00
% Especies tolerantes (ET)	66,67	0,00
Biomasa (B)	43,20	0,00
IIB_{VegRip}		0,34
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		4,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC18

En la Tabla 5.1.5.63 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC18.

Tabla 5.1.5.63 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC18.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	4,00	0,00
Especies acuáticas (EQ)	2,00	0,30
% Especies anuales (EA)	33,33	0,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	16,67	0,00
% Especies sensitivas (ES)	0,00	0,00
% Especies tolerantes (ET)	50,00	0,30
Biomasa (B)	50,80	0,00
IIB_{VegRip}		0,20
Interpretación	Baja integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		2,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC19

En la Tabla 5.1.5.64 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC19.

Tabla 5.1.5.64 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC19.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	16,00	0,70
Especies acuáticas (EQ)	3,00	0,30
% Especies anuales (EA)	15,79	0,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	36,84	0,00
% Especies sensitivas (ES)	10,53	0,70
% Especies tolerantes (ET)	36,84	0,70
Biomasa (B)	60,9	0,00
IIB_{VegRip}		0,43
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		5,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC20

En la Tabla 5.1.5.65 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC20.

Tabla 5.1.5.65 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC20.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	14,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	1,00	0,00
% Especies anuales (EA)	0,00	1,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	13,33	0,30
% Especies sensitivas (ES)	20,00	0,70
% Especies tolerantes (ET)	66,67	0,00
Biomasa (B)	45,30	0,00
IIBVegRip		0,41
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		5,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC21

En la Tabla 5.1.5.66 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC21.

Tabla 5.1.5.66 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC21.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	9,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	0,00	0,00
% Especies anuales (EA)	0,00	1,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	22,22	0,00
% Especies sensitivas (ES)	0,00	0,00
% Especies tolerantes (ET)	77,78	0,00
Biomasa (B)	46,10	0,00
IIB_{VegRip}		0,29
Interpretación	Baja integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		3,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC22

En la Tabla 5.1.5.67 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC22.

Tabla 5.1.5.67 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC22.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	12,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	1,00	0,00
% Especies anuales (EA)	0,00	1,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	23,08	0,00
% Especies sensitivas (ES)	15,38	0,70
% Especies tolerantes (ET)	61,54	0,00
Biomasa (B)	53,00	0,00
IIB_{VegRip}		0,38
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		4,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- Índice de Integridad Biótica para las parcelas del punto de captación CC23

En la Tabla 5.1.5.68 se presentan los parámetros y valores asignados a las dos parcelas del punto de captación CC23.

Tabla 5.1.5.68 Resultado del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIBVegRip) para el punto de captación CC23.

Métrica	Valor	Puntaje
Especies riparias (EP)	13,00	0,30
Especies acuáticas (EQ)	1,00	0,00
% Especies anuales (EA)	7,14	1,00
% Especies exóticas (EE)	0,00	1,00
% Especies ruderales (ER)	14,29	0,30
% Especies sensitivas (ES)	28,57	1,00
% Especies tolerantes (ET)	50,00	0,30
Biomasa (B)		0,00
IIB_{VegRip}		0,49
Interpretación	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	
Ponderado		5,00

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Diversidad del Perifiton**

Para determinar la calidad del agua de acuerdo con la estructura de la comunidad de perifiton y describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente se utilizó la diversidad del Perifiton según índice de Shannon – Wiener; con base en las categorías que se detallan en la Tabla 5.1.5.69

Tabla 5.1.5.69 Calificación de la diversidad del perifiton.

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango		Clasificación
Calidad del agua por Diversidad del Perifiton según índice de SHANNON - WIENER	Valores que van desde 0 hasta 5, donde 5 puede llegar a ser la máxima diversidad	Aguas muy contaminadas	0	0,3	1
			0,3	0,6	2
			0,6	0,9	3
		Aguas medianamente contaminadas	0,9	1,2	4
			1,2	1,5	5
			1,5	1,8	6
			1,8	2,1	7
			2,1	2,4	8
			2,4	2,7	9
		Aguas muy limpias	> 2,7		10

Fuente: Grecco, 2012

En la Tabla 5.1.5.70 se presentan los resultados del Índice de integridad biótica para el perifiton de acuerdo con la clasificación descrita por Grecco, la información utilizada para determinar estos valores fue tomados de los resultados hidrobiológicos descritos en el capítulo 5.2.2.1. En general se observa que en todas las estaciones el agua es medianamente contaminada. Es importante mencionar que, como se observa en la Tabla 5.1.5.69 existen varios niveles para las aguas medianamente contaminadas siendo el ponderador más bajo 4 que está en el límite de aguas muy contaminadas y el valor más alto corresponde a 9 que se encuentra en el límite de aguas muy limpias. De acuerdo con lo anterior se puede inferir que en general en las estaciones evaluadas la calidad del agua es buena y la contaminación que se presenta es por descomposición de materia orgánica.

Tabla 5.1.5.70 Calidad del agua por diversidad del Perifiton según índice de Shannon-Wiener.

Sitio Captación	Shannon_H	Ponderado	Interpretación
CC19	2,231	8	Aguas medianamente contaminadas
CC23	2,231	8	
CC18	1,754	6	
CC16	1,651	6	
CC17	1,518	6	
CC21	1,646	6	
CC22	1,754	6	
CC15	1,435	5	
CC20	1,183	4	

Fuente: Integral S.A., 2025

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que los sitios de captación presentan una diversidad de perifiton media, asociada a aguas muy limpias, y se le asigna a esta variable un ponderado entre 4 y 8, estando la mayoría de los sitios calificado en 9, tal como se muestra en la Tabla 5.1.5.70.

- **Modificación del paisaje**

Para evaluar este criterio se utilizó la información del análisis de paisaje con relación a la visibilidad, para ello se tuvo en cuenta los resultados de cuencas visuales que se presentan en capítulo de caracterización Paisaje, y se corroboraron con observadores distribuidos en

sitios cercanos al área de intervención, es decir las obras civiles que presenten flujo de personas y se consideraron sitios de mayor altitud por ofrecer una mayor visual del terreno.

En general, la visibilidad en las zonas dónde se realizará las captaciones va de moderada a sin impacto considerando la herramienta de la ANLA de cuencas visuales, que tiene un rango de análisis de 7 km (véase Tabla 5.1.5.71). En ese sentido, se identifican que las ponderaciones para las que no presentan impacto son de 0, y las que presentan impactos medios, se analizan observadores identificados y sus visibilidades en el capítulo de caracterización Paisaje. En dónde se identifica que la reducción del cauce en cuerpos de agua como el rio Nus (CC15 y CC16) se puede presentar una visualización máxima 2 km, en cuanto a la Quebrada El Balsal (CC20) se identifica que la reducción se puede visualizarse a 238 m; La Quebrada Guacas en la parte alta (CC18 y CC22) no presentaría visibilidad, sin embargo en la parte baja (CC19 y CC23) presentarían una visibilidad en aproximadamente 2,5 km; en cuanto a la Quebrada La Negra (CC21) la visibilidad se presentaría en aproximadamente 1,5 km.

Tabla 5.1.5.71 Criterio de visibilidad.

Captación	Fuente	Visibilidad
CC15	Rio Nus	Impacto medio
CC16	Rio Nus	Impacto medio
CC17	Rio Nus	Sin impacto
CC18	Quebrada Guacas	Sin impacto
CC19	Quebrada Guacas	Impacto medio
CC20	Quebrada El Balsal	Impacto medio
CC21	Quebrada La Negra	Impacto medio
CC22	Quebrada Guacas	Impacto medio
CC23	Quebrada Guacas	Impacto medio

Fuente: Integral S.A., 2025

Bajo el análisis anterior, el puntaje de ponderación varía para cada fuente hídrica y punto de captación como se señala de la Tabla 5.1.5.72 a la Tabla 5.1.5.75. Para el Rio Nus ponderación de 0 (CC17) y 2 (CC15 y CC16), Para la Quebrada Guacas una ponderación de 0 (CC18 y CC22) en la parte alta y ponderación de 2 (CC19 y CC23) en la parte baja, en la Quebrada La Negra se pondera en 2 (CC21) y en la Quebrada El Balsal se pondera en 1.

Tabla 5.1.5.72 Calificación de la modificación del paisaje para el rio Nus (CC15, CC16 y CC17).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Modificación del paisaje	Cuenca visual (sumatoria de longitudes, en metros, del cauce con caudales reducidos que se observa desde los diferentes puntos de la cuenca)	Ausente	0	0
		Presente	0 – 1000	1
			1000 – 2000	2
			2000 – 3000	3
			3000 – 4000	4
			4000 – 5000	5
			5000 – 6000	6
			6000 – 7000	7
			7000 – 8000	8
			8000 – 9000	9
			> 9000	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.73 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Modificación del paisaje	Cuenca visual (sumatoria de longitudes, en metros, del cauce con caudales reducidos que se observa desde los diferentes puntos de la cuenca)	Ausente	0	0
		Presente	0 – 1000	1
			1000 – 2000	2
			2000 – 3000	3
			3000 – 4000	4
			4000 – 5000	5
			5000 – 6000	6
			6000 – 7000	7
			7000 – 8000	8
			8000 – 9000	9
			> 9000	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.74 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada La Negra (CC21).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Modificación del paisaje	Cuenca visual (sumatoria de longitudes, en metros, del cauce con caudales reducidos que se observa desde los diferentes puntos de la cuenca)	Ausente	0	0
		Presente	0 – 1000	1
			1000 – 2000	2
			2000 – 3000	3
			3000 – 4000	4
			4000 – 5000	5
			5000 – 6000	6
			6000 – 7000	7
			7000 – 8000	8
			8000 – 9000	9
			> 9000	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.75 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada El Balsal (CC20).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Modificación del paisaje	Cuenca visual (sumatoria de longitudes, en metros, del cauce con caudales reducidos que se observa desde los diferentes puntos de la cuenca)	Ausente	0	0
		Presente	0 – 1000	1
			1000 – 2000	2
			2000 – 3000	3
			3000 – 4000	4
			4000 – 5000	5
			5000 – 6000	6
			6000 – 7000	7
			7000 – 8000	8
			8000 – 9000	9
			> 9000	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

- **Usos del agua en el sector con caudal alterado**

En las microcuencas de las quebradas El Banco, Guacas y La Negra se identificaron usuarios que realizan captaciones, tanto los reportados por CORNARE como los identificados en campo, tal como se presenta en la caracterización Usuarios del Agua. Por su parte, el río Nus presenta captaciones para uso industrial y doméstico, de acuerdo con la información proporcionada por CORNARE. CORANTIOQUIA no reporta usos en esta fuente hídrica; sin embargo, se considera que esta también es susceptible a otros usos, como actividades recreativas, las cuales no se les asigna caudal dado que no son concesionadas.

En cuanto a los vertimientos, no fue posible ubicarlos debido a la falta de información sobre vertimientos legalizados. Sin embargo, en terreno se asociaron algunas viviendas a vertimientos potenciales que podrían ser realizados por la comunidad, tanto al suelo como a cuerpos de agua cercanos.

En ese sentido, en las fuentes hídricas dónde se contempla la captación por el proyecto y en el tramo aguas abajo hasta donde el cauce encuentre un cauce de igual o mayor orden, donde se identifican algunos usuarios que podrían ser afectados por el desarrollo del proyecto, se realizó el cálculo de consumo o demanda, presentados en la Tabla 5.1.5.76. Es importante señalar que dentro de la Quebrada Guacas existe una captación para la comunidad de providencia; sin embargo, se propone su reubicación aguas arriba de las intervenciones del proyecto para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico, conforme a la medida de manejo señalada en el PMA_SOC_10 “Restitución del acueducto veredal de Providencia”. No obstante, se analiza dado que en etapa de construcción esta captación puede coexistir hasta que se realice la desviación de la Quebrada Guacas, obra que no es objeto de modificación en la presente solicitud.

Tabla 5.1.5.76 Criterio de usos del agua aguas abajo de las concesiones.

Captación	Fuente	Consumo (L/s)	Consumo (m^3/s)
CC15	Rio Nus	0,668	0,000668
CC16	Rio Nus		
CC17	Rio Nus	0	0,000
CC18	Quebrada Guacas	2,028	0,002028
CC19	Quebrada Guacas		
CC20	Quebrada El Balsal	0,3	0,003
CC21	Quebrada La Negra	0	0,000
CC22	Quebrada Guacas	2,028	0,002028
CC23	Quebrada Guacas		

Fuente: Integral S.A., 2025

Por su parte, el proyecto contempla la concesión de los siguientes caudales:

Tabla 5.1.5.77 Caudales a concesionar por el proyecto.

Captación	Fuente	Consumo (L/s)	Consumo (m^3/s)
CC15	Rio Nus	2	0,002
CC16	Rio Nus	2	0,002
CC17	Rio Nus	2	0,002
CC18	Quebrada Guacas	2	0,002
CC19	Quebrada Guacas	2	0,002
CC20	Quebrada El Balsal	2	0,002
CC21	Quebrada La Negra	2	0,002
CC22	Quebrada Guacas	46,3	0,0463
CC23	Quebrada Guacas	46,3	0,0463

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.78 Caudal total para realizar el ponderado.

Captación	Fuente	Consumo (L/s)	Consumo (m^3/s)
CC15	Rio Nus	2,67	0,003
CC16	Rio Nus	2,67	0,003
CC17	Rio Nus	2,00	0,002
CC18	Quebrada Guacas	4,03	0,004
CC19	Quebrada Guacas	4,03	0,004
CC20	Quebrada El Balsal	2,30	0,002
CC21	Quebrada La Negra	2,00	0,002
CC22	Quebrada Guacas	48,33	0,048
CC23	Quebrada Guacas	48,33	0,048

Fuente: Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, para el Rio Nus se pondera con 3, para la Quebrada Guacas se pondera con 5, para la Quebrada El Balsal se pondera con 2 y para la Quebrada La Negra se pondera con 2. De la Tabla 5.1.5.79 a la Tabla 5.1.5.82 se presentan las ponderaciones por el uso del agua.

Tabla 5.1.5.79 Calificación de usos del agua en el sector con caudal modificado sobre el rio Nus (CC15, CC16 y CC17).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Porcentaje entre la suma de caudales utilizados	Ausente	0,000	0
		Presente	0,000 – 0,001	1
			0,001 – 0,002	2
			0,002 – 0,003	3
			0,003 – 0,004	4
			0,004 – 0,005	5
			0,005 – 0,006	6
			0,006 – 0,007	7
			0,007 – 0,008	8
			0,008 – 0,009	9
			> 0,009	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.80 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada Guacas (CC18, CC19, CC22 y CC23).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Porcentaje entre la suma de caudales utilizados	Ausente	0,000	0
		Presente	0,000 – 0,001	1
			0,001 – 0,002	2
			0,002 – 0,003	3
			0,003 – 0,004	4
			0,004 – 0,005	5
			0,005 – 0,006	6
			0,006 – 0,007	7
			0,007 – 0,008	8
			0,008 – 0,009	9
			> 0,009	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.81 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada La Negra (CC21).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Porcentaje entre la suma de caudales utilizados	Ausente	0,000	0
		Presente	0,000 – 0,001	1
			0,001 – 0,002	2
			0,002 – 0,003	3
			0,003 – 0,004	4
			0,004 – 0,005	5
			0,005 – 0,006	6
			0,006 – 0,007	7
			0,007 – 0,008	8
			0,008 – 0,009	9
			> 0,009	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.82 Calificación de la modificación del paisaje para la Quebrada El Balsal (CC20).

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Porcentaje entre la suma de caudales utilizados	Ausente	0,000	0
		Presente	0,000 – 0,001	1
			0,001 – 0,002	2
			0,002 – 0,003	3
			0,003 – 0,004	4
			0,004 – 0,005	5
			0,005 – 0,006	6
			0,006 – 0,007	7
			0,007 – 0,008	8
			0,008 – 0,009	9
			> 0,009	10

Fuente: (Grecco & Salazar, 2012), adaptado por Integral S.A., 2025

iii. Cálculos y resultados

Con la ponderación realizada en cada uno de los numerales anteriores y utilizando como base hidrológica el Q95, se calcularon los caudales de garantía ambiental para cada punto de captación sobre las fuentes hídricas de interés (ver resultados desde la Tabla 5.1.5.83 a la Tabla 5.1.5.91).

Tabla 5.1.5.83 Caudal de garantía ambiental para el punto CC15.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	5.694,05	5.371,79	5.366,28	6.780,81	9.141,44	12.046,46	10.246,82	9.233,15	8.223,55	12.115,56	13.737,25	13.090,86	8.523,24
% reduc	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%
CGA	2.163,74	2.041,28	2.039,19	2.576,71	3.473,75	4.577,66	3.893,79	3.508,60	3.124,95	4.603,91	5.220,15	4.974,53	3.238,83

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.84 Caudal de garantía ambiental para el punto CC16.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	5.791,10	5.463,34	5.457,74	6.896,38	9.297,23	12.251,77	10.421,46	9.390,51	8.363,71	12.322,05	13.971,37	13.313,97	8.668,50
% reduc	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
CGA	2.432,26	2.294,60	2.292,25	2.896,48	3.904,84	5.145,74	4.377,01	3.944,01	3.512,76	5.175,26	5.867,98	5.591,87	3.640,77

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.85 Caudal de garantía ambiental para el punto CC17.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	7.937,3	7.488,07	7.480,4	9.452,21	12.742,83	16.792,34	14.283,7	12.870,67	11.463,34	16.888,66	19.149,22	18.248,18	11.881,09
% reduc	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%
CGA	2.539,94	2.396,18	2.393,73	3.024,71	4.077,71	5.373,55	4.570,78	4.118,62	3.668,27	5.404,37	6.127,75	5.839,42	3.801,95

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.86 Caudal de garantía ambiental para el punto CC18.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	1.795,74	1.694,1	1.692,37	2.138,47	2.882,94	3.799,10	3.231,54	2.911,86	2.593,47	3.820,89	4.332,32	4.128,47	2.687,98
% reduc	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
CGA	808,08	762,35	761,56	962,31	1.297,32	1.709,59	1.454,20	1.310,34	1.167,06	1.719,40	1.949,54	1.857,81	1.209,59

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.87 Caudal de garantía ambiental para el punto CC19.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	1917,84	1.809,29	1.807,44	2.283,88	3.078,97	4.057,42	3.451,28	3.109,86	2.769,81	4.080,70	4.626,90	4.409,19	2.870,75
% reduc	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
CGA	805,49	759,90	759,13	959,23	1.293,17	1.704,12	1.449,54	1.306,14	1.163,32	1.713,89	1.943,30	1.851,86	1.205,72

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.88 Caudal de garantía ambiental para el punto CC20.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	2,83	2,67	2,67	3,37	4,54	5,99	5,09	4,59	4,09	6,02	6,83	6,51	4,24
% reduc	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%
CGA	0,74	0,69	0,69	0,88	1,18	1,56	1,32	1,19	1,06	1,57	1,78	1,69	1,10

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.89 Caudal de garantía ambiental para el punto CC21.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	43,57	41,11	41,07	51,89	69,95	92,18	78,41	70,66	62,93	92,71	105,12	100,18	65,22
% reduc	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%
CGA	18,74	17,68	17,66	22,31	30,08	39,64	33,72	30,38	27,06	39,87	45,20	43,08	28,05

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.90 Caudal de garantía ambiental para el punto CC22.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	1.892,48	1.785,37	1.783,55	2.253,68	3.038,26	4.003,78	3.405,65	3.068,74	2.733,19	4.026,75	4.565,73	4.350,90	2.832,80
% reduc	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%
CGA	832,69	785,56	784,76	991,62	1.336,84	1.761,66	1.498,49	1.350,25	1.202,61	1.771,77	2.008,92	1.914,4	1.246,43

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.91 Caudal de garantía ambiental para el punto CC23.

Q (l/s)	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q95	1.922,6	1.813,78	1.811,92	2.289,54	3.086,60	4.067,48	3.459,84	3.117,57	2.776,68	4.090,82	4.638,38	4.420,12	2.877,87
% reduc	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
CGA	788,26	743,65	742,89	938,71	1.265,51	1.667,67	1.418,53	1.278,2	1.138,44	1.677,23	1.901,73	1.812,25	1.179,93

Fuente: Integral S.A., 2025

El análisis multivariado de la metodología Grecco - EPM determina ponderaciones que oscilan entre el 26% y el 45%, lo cual indica impactos moderados en los distintos tramos de los cauces susceptibles de aprovechamiento. Por otra parte, se observa que los máximos caudales de garantía ambiental se registran durante septiembre, mes correspondiente al inicio del segundo período seco interanual.

V. Caudal ambiental en las cuencas hidrográficas

El caudal ambiental para las cuencas de línea base y susceptibles de intervención que se encuentran asociadas al área de influencia hidrológica, fue calculado a partir de las dos metodologías descritas en la Guía Técnica Para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

i. Metodología 1

De acuerdo con lo estipulado en la Resolución 865 del 2004, como primera aproximación el caudal ambiental puede calcularse como el valor máximo de flujo que es obtenido de la aplicación de los siguientes lineamientos:

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

De acuerdo con la Tabla 5.1.5.12, donde se presentaron los caudales medios mensuales multianuales y el promedio multianual de la estación de Caramanta, el mes con el caudal más bajo corresponde al mes de enero (11,86 m^3/s), por lo que se estima el 25% de este caudal, según lo indica el lineamiento de porcentaje de descuento. Por otro lado, también se valoró el 25% del caudal promedio multianual de cada una de las cuencas. Es de aclarar que los estimativos efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

En la Tabla 5.1.5.92 se presentan los resultados de ambos lineamientos, de los cuales se adopta el valor máximo, cuya magnitud para todas las cuencas serían las calculadas a partir de la reducción por caudal ambiental.

Tabla 5.1.5.92 Resultados de caudal ambienta luego de aplicar la Metodología 1 (MinAmbiente, 2014).

Cuenca	Caudal Medio Multianual	Caudal por % Descuento	Caudal por Reducción Ambiental
	m³/s	m³/s	m³/s
Río Nus	20,52	2,97	5,13
Qda. Topacio	0,26	0,04	0,07
Qda. El Banco	0,11	0,02	0,03
Qda. San Antonio	0,13	0,02	0,03
Qda. Guacas	5,04	0,73	1,26
Qda. La Colorada	0,13	0,02	0,03
Qda. La Maria	0,06	0,009	0,02
Quebrada Torito	0,01	0,002	0,004
Qda. La Palestina	0,88	0,13	0,22

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Metodología 2

Según esta metodología, el valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración de excedencia, esto para un IRH superior a 0,70 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,70 se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). En este caso, para las cuencas y subcuencas del río Nus se obtiene un resultado de IRH de 0,79 (ver estimativos en numeral f), por lo que el percentil de referencia que fue utilizado corresponde al Q85%.

Los resultados obtenidos para las cuencas hidrográficas de línea base se muestran en la Tabla 5.1.5.93. Se aclara que los estimativos que fueron efectuados se presentan en detalle en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_02_C_Q_Med-Amb.

Tabla 5.1.5.93 Resultados de caudal ambiental luego de aplicar la Metodología 2 (MinAmbiente, 2014).

Cuenca	Q Percentil 85
	m³/s
Río Nus	10,74
Qda. Topacio	0,14
Qda. El Banco	0,06
Qda. San Antonio	0,07
Qda. Guacas	2,58
Qda. La Colorada	0,07
Qda. La Maria	0,03
Quebrada Torito	0,01
Qda. La Palestina	0,48

Fuente: Integral S.A., 2025

iii. Selección de caudales ambientales

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante las dos metodologías (ver Tabla 5.1.5.92 y Tabla 5.1.5.93), se escogen como caudales ambientales los valores máximos que fueron calculados, los cuales en este caso corresponden a los estimados mediante la metodología 2. Se señala que estos datos se expresan en unidades de m^3/s y l/s haciendo uso de la Tabla 5.1.5.94.

Tabla 5.1.5.94 Caudales ambientales asumidos para las cuencas de línea base asociadas al área de influencia.

Cuenca	Q ambiental (m^3/s)	Q ambiental (l/s)
Río Nus	10,74	10.740,00
Qda. Topacio	0,14	139,63
Qda. El Banco	0,06	58,75
Qda. San Antonio	0,07	72,83
Qda. Guacas	2,58	2578,16
Qda. La Colorada	0,07	73,68
Qda. La Maria	0,03	34,33
Quebrada Torito	0,01	8,07
Qda. La Palestina	0,48	483,39

Fuente: Integral S.A., 2025

f. Indicadores hidrológicos

Para dar cumplimiento a lo solicitado en los términos de referencia, fueron estimados para las cuencas de interés los índices de: (1) Aridez, (2) Retención y regulación hídrica, (3) Uso de agua, y (4) vulnerabilidad hídrica. El compendio de las valoraciones realizadas para obtener estos parámetros se consiga en el anexo denominado como: ANEXOS_ CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_04_Ind_Hidr.

I. Índice de aridez

Este indicador permite caracterizar cualitativamente el clima, midiendo el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación, de forma que se pueda valorar si se garantiza o no el sostenimiento de los ecosistemas de una región.

En este contexto, se retomaron los mapas de Evapotranspiración Real (ETR) y de Evapotranspiración Potencial (ETP) -ver caracterización en capítulo b-. Se destaca que para la ETR se tomó el promedio de los resultados estimados por el método de Turc y Budyko, mientras que para la ETP se utilizaron los resultados del método de Cenicafe. En la Tabla 5.1.5.95 se presenta los índices de aridez hallados para las cuencas de línea base no instrumentadas. Las categorías cualitativas y rango del índice de aridez se toman del IDEAM (IDEAM, 2015) y se describen en el Capítulo de generalidades.

Tabla 5.1.5.95 Índice de Aridez.

Nombre de la cuenca	Evapotranspiración Real (mm/año)	Evapotranspiración Potencial (mm)	Índice de Aridez (m^3/s)	Clasificación
Rio Nus (Est. Caramanta)	1.092,14	1.305,51	0,16	Excedentes de agua
Qda. Topacio	1.147,25	1.404,56	0,18	Excedentes de agua
Qda. El Banco	1.151,61	1.421,38	0,19	Excedentes de agua
Qda. San Antonio	1.149,25	1.426,8	0,19	Excedentes de agua
Qda. Guacas	1.095,79	1.303,75	0,16	Excedentes de agua
Qda. La Colorada	1.133,34	1.418,85	0,2	Moderado y Excedentes
Qda. La Maria	1.128,72	1.429,03	0,21	Moderado y Excedentes
Quebrada Torito	1.120,85	1.427,66	0,21	Moderado y Excedentes
Qda. La Palestina	1.099,01	1.388,21	0,21	Moderado y Excedentes

Fuente: Integral S.A., 2025

Los valores de índice de aridez para las cuencas de menor tamaño se presentan en el anexo ANEXOS_ CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_04_Ind_Hidr.

II. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) permite conocer la cantidad de humedad que es capaz de retener la cuenca. Para su estimación, se utiliza la curva de duración de caudales medios de la estación IDEAM Caramanta (ver Figura 5.1.5.26). A partir de este gráfico se calculó el área bajo la curva total y la definida bajo la línea del caudal medio, con el fin de encontrar la relación entre estos dos parámetros.

Según este resultado, la cuenca del rio Nus posee una alta capacidad para retener y regular los caudales (ver Tabla 5.1.5.96). Se resalta que esta valoración es extensible a todas las hoyas hidrográficas evaluadas en el presente estudio, toda vez que dichos drenajes hacen parte del sistema hídrico del río Nus en el sector de corte en el que se está realizando este tipo de caracterización (estación Caramanta).

Tabla 5.1.5.96 Categoría del índice de retención de la Regulación Hídrica del Rio Nus.

Cuenca	Vp	Vt	IRH	Clasificación
Rio Nus	132.677,85	168.863,31	0,79	Alto

Fuente: Integral S.A., 2025

III. Índice del uso del agua (IUA)

El Índice del Uso del Agua (IUA) representa la relación porcentual existente entre la demanda hídrica (cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores de usuarios en un período determinado) y la oferta hídrica disponible. Para calcular la demanda hídrica de las diferentes cuencas dentro el área de influencia se empleó la identificación de usuarios con

concesiones vigentes y los registrados en campo, teniendo en cuenta la información del Estudio de Impacto Ambiental (2015), la Modificación de Licencia Ambiental (2018), y la información proporcionada por CORNARE y CORANTIOQUIA mediante los radicados CS-02552-2025, CS-08148-2021 de CORNARE y 160AS-RES2503-929 de CORANTIOQUIA.

La información de los usuarios analizados para el índice de Uso del Agua se encuentra registrada en el modelo de almacenamiento de datos del proyecto Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote en el Shape de Usos y Usuarios Recurso Hídrico (ver Geodatabase asociada al proceso de modificación).

Adicionalmente, se realizó la consulta de existencia de información de Planes de Ordenación y Manejo de Cuenca (POMCA), Planes de Ordenación del Recurso Hídrico (PORH), y demás reglamentaciones o fuentes de información existentes, identificando que para las fuentes de interés no se cuenta con esquemas de ordenamiento del recurso hídrico.

Con la información primaria y secundaria se realizó el análisis de la demanda hídrica, descartando las concesiones de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH); ya que, asociado a su funcionamiento, el caudal captado para la generación de energía se reintegra nuevamente a la cuenca en igual magnitud, por lo que este recurso permanece como oferta hídrica. También, cabe resaltar que por parte de CORNARE no se identifica si los puntos de demanda reportados siguen vigentes, por lo que la disponibilidad del recurso hídrico podría llegar a ser mayor al que es reportado en el presente estudio.

Por otro lado, para definir la oferta disponible, se tomaron los valores de caudales medios de cada cuenca (ver Tabla 5.1.5.12 y Tabla 5.1.5.20), a los cuales se les sustrajo el caudal ambiental que fue estimado anteriormente (ver Tabla 5.1.5.94), obteniendo así el caudal que se encuentra disponible. En la Tabla 5.1.5.97, se presentan los valores utilizados en la estimación del IUA, así como el respectivo índice hallado para las cuencas hidrográficas de línea base. La clasificación cualitativa y rangos para el índice se toman estudio nacional del agua del 2018, la explicación a detalle se presenta en el capítulo 2 de generalidades.

Tabla 5.1.5.97 Índices de Uso del Agua (IUA) de las cuencas de línea base.

Cuenca	Q medio (m^3/s)	Q Ambiental (m^3/s)	Oferta disponible (m^3/s)	Demanda hídrica (m^3/s)	IUA (%)	Clasificación
Rio Nus (Est. Caramanta)	20,52	10,74	9,78	0,26478	2,71	Bajo
Qda. Topacio	0,26	0,14	0,12	0,00060	0,50	Muy Bajo
Qda. El Banco	0,11	0,06	0,05	0,00004	0,09	Muy Bajo
Qda. San Antonio	0,13	0,07	0,06	0,00000	0,00	Muy Bajo
Qda. Guacas	5,04	2,58	2,47	0,04686	1,90	Bajo
Qda. La Colorada	0,13	0,07	0,06	0,00238	3,94	Bajo
Qda. La Maria	0,06	0,03	0,03	0,00688	25,09	Alto
Quebrada Torito	0,01	0,01	0,01	0,00002	0,27	Muy Bajo
Qda. La Palestina	0,88	0,48	0,40	0,00292	0,74	Muy Bajo

Fuente: Integral S.A., 2025

Los índices de uso del agua para las cuencas de menor tamaño se presentan en el ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_5_04_Ind_Hidr, de igual forma la caracterización a detalle de los usos y usuarios se presentan en el subcapítulo de caracterización 5.1.5.2 de Usos del agua.

IV. Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH)

El Índice de Vulnerabilidad Hídrica por Desabastecimiento (IVH) se define como el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta durante el abastecimiento de agua. Este parámetro se estima a través de la matriz de relación de rangos del IRH y el IUA (Ver Tabla 5.1.5.98). Los resultados obtenidos para el IVH sobre cada cuenca de análisis se presentan en la Tabla 5.1.5.99.

Tabla 5.1.5.98 Matriz de relación del Índice de Vulnerabilidad Hídrica.

IUA Extremo = porcentaje (Oferta/demanda)		**Índice de regulación**			
Rango	**Categoría**	**Alta**	**Moderado**	**Baja**	**Muy baja**
< 1	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
1 - 10	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
10 - 20	Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
20 - 50	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
50 - 100	Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
> 100	Crítico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.1.5.99 Índice de Vulnerabilidad Hídrica por cuenca.

Cuenca	**IUA**	**IRH**	**IVH**
Rio Nus (Est. Caramanta)	Bajo	Alto	Bajo
Qda. Topacio	Muy Bajo	Alto	Muy bajo
Qda. El Banco	Muy Bajo	Alto	Muy bajo
Qda. San Antonio	Muy Bajo	Alto	Muy bajo
Qda. Guacas	Bajo	Alto	Bajo
Qda. La Colorada	Bajo	Alto	Bajo
Qda. La Maria	Alto	Alto	Medio
Quebrada Torito	Muy Bajo	Alto	Muy bajo
Qda. La Palestina	Muy Bajo	Alto	Muy bajo

Fuente: Integral S.A., 2025

D. Modelación Hidráulica

El análisis hidráulico desarrollado para el presente estudio tuvo como objetivo principal simular el comportamiento del río Nus y de las quebradas El Banco, San Antonio, Guacas, Cauce 5, Cauce 6, La Colorada, Cauce 8, La María, El Torito, Cauce 9, Cauce 10 y La Palestina frente a eventos hidro-climatológicos extremos. Este tipo de modelaciones permite delimitar con precisión las manchas de inundación, identificando las áreas que se verían potencialmente afectadas ante eventos naturales de desbordamiento.

Para la construcción del modelo hidráulico se consideraron diferentes escenarios de caudal, los cuales incluyen desde la condición media, hasta los caudales asociados a periodos de retorno de 2,33, 100 años y la Creciente Máxima Probable – CMP - (equivalente a un

1’000.000 de años de periodo de retorno). Estos escenarios fueron definidos a partir de la caracterización base realizada en los numerales anteriores, y representan desde condiciones normales hasta extremas (ver magnitudes en Tabla 5.1.5.100), garantizando así una evaluación integral del comportamiento del sistema hídrico perteneciente al río Nus.

Es de resaltar que el desarrollo del modelo hidráulico se realizó mediante el uso del software HEC-RAS V.6.6, asumiendo principalmente un enfoque unidimensional (1D) – ver geometría en la Figura 5.1.5.46 -. Este enfoque permite calcular los niveles del agua y velocidades medias en cada sección transversal, considerando a su vez las características geométricas del cauce según las condiciones de frontera que son establecidas. Respecto a la información topográfica que fue utilizada, se aclara que esta provino del levantamiento LiDAR con resolución espacial de 1m x 1m que fue presentado en el numeral a.

Tabla 5.1.5.100 Plan de caudales utilizado para realizar las simulaciones hidráulicas.

Cauce	Qmed	Tr=2.33	Tr=100	Tr=1000	CMP
Río Nus	20,52	163,26	365,34	512,25	1183,64
El Banco	0,11	16,69	27,53	33,90	53,34
San Antonio	0,13	21,54	35,53	43,76	68,84
Guacas	5,05	202,29	425,72	563,02	990,41
Cauce 5	0,01	4,94	8,16	10,05	15,80
Cauce 6	0,01	2,36	3,90	4,80	7,55
La Colorada	0,13	26,08	43,02	52,98	83,34
Cauce 8	0,01	3,72	6,13	7,55	11,88
La María	0,06	16,70	27,55	33,93	53,37
El Torito	0,01	5,12	8,44	10,39	16,35
Cauce 9	0,02	7,09	11,69	14,40	22,65
Cauce 10	0,01	3,92	6,47	7,97	12,54
La Palestina	0,88	88,81	194,10	259,76	466,09

Fuente: Integral S.A., 2025

Es importante mencionar que se utilizaron dos valores para el coeficiente de rugosidad de Manning (n) para representar las condiciones hidráulicas del cauce, uno para el canal principal y otro para sus bancas o llanuras de inundación. Para el río Nus se adoptó un valor de n=0,035, mientras que para sus tributarios se seleccionó un n=0,04; ambas magnitudes correspondientes a cauces naturales con sedimentos y presencia de vegetación sobre su lecho. Por otro lado, para las márgenes derecha e izquierda se empleó un valor de n=0,065, que refleja la presencia de vegetación más densa y elementos que incrementan la resistencia al flujo.

Por otra parte, se implementaron coeficientes de pérdida por transición, considerando tanto el estrechamiento como el ensanchamiento de la sección. Para la contracción se adoptó un valor de 0,10, el cual corresponde a pérdidas menores debido a una transición relativamente suave, donde el flujo mantiene su alineación y se minimizan las turbulencias. En contraste, para la expansión se utilizó un coeficiente de 0,30, que refleja pérdidas mayores asociadas a la separación del flujo y la generación de vorticidades en la zona de ensanchamiento, fenómeno común en transiciones abruptas.

Dicho esto, en la Figura 5.1.5.47 se presentan los niveles de agua obtenidos a partir del modelo hidráulico, los cuales evidencian controles en las zonas donde se localizan las obras hidráulicas, generando variaciones en la línea de energía. Por su parte, en la Figura

5.1.5.48 se muestran los resultados de velocidad media a lo largo del cauce para los diferentes escenarios modelados, para los cuales se observan variaciones entre los periodos de retorno analizados, destacándose que en la condición de la CMP se registran disminuciones respecto a los eventos de 100 y 1.000 años en algunos tramos. Esta reducción se explica por el incremento significativo del área mojada y la presencia de controles hidráulicos que influyen en el comportamiento del flujo.

Finalmente, se resalta que con base en los resultados de la simulación hidráulica se generaron las manchas de inundación para las diferentes crecientes analizadas, representando su extensión final mediante la Figura 5.1.5.49 y la Figura 5.1.5.50; de igual forma se presentan en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-MAN-INUN-TR100. Así mismo, se destaca que el modelo hidráulico que fue construido se encuentra incluido en el anexo denominado como: ANEXOS_CARACTERIZACION_HIDROLOGIA_HEC-RAS.

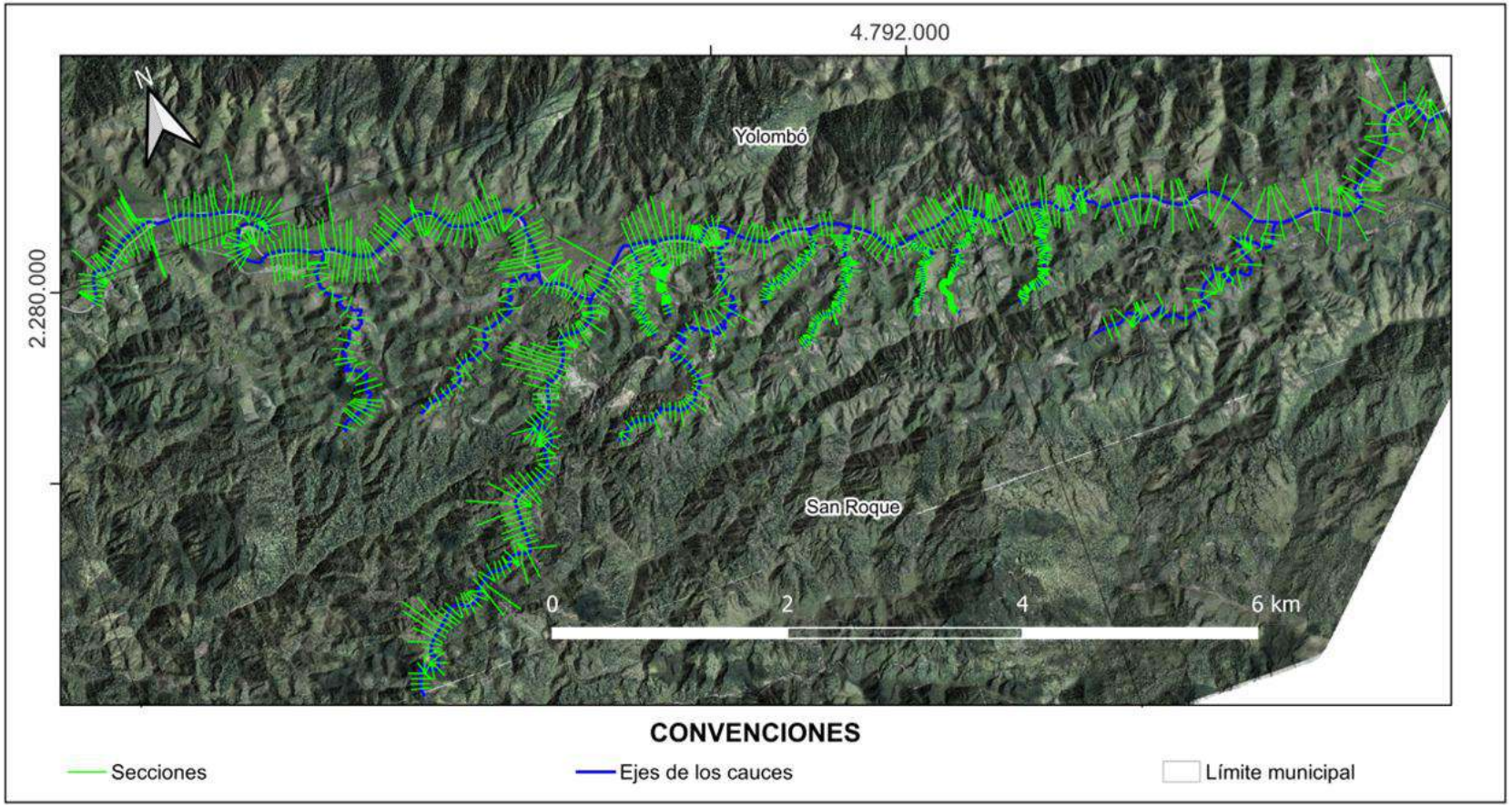


Figura 5.1.5.46 Geometría del modelo hidráulico.

Fuente: Integral S.A., 2025

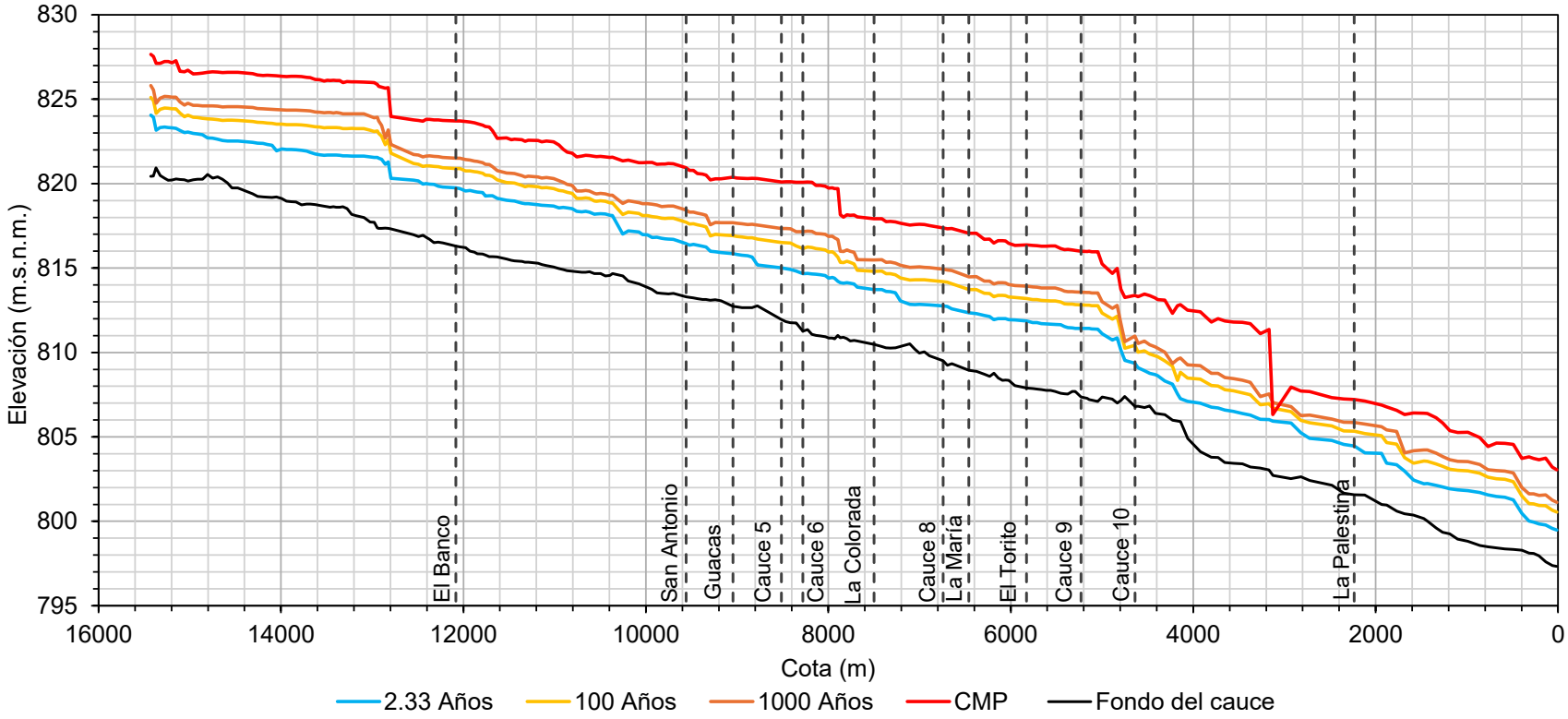


Figura 5.1.5.47 Perfiles de flujo en el río Nus.

Fuente: Integral S.A., 2025

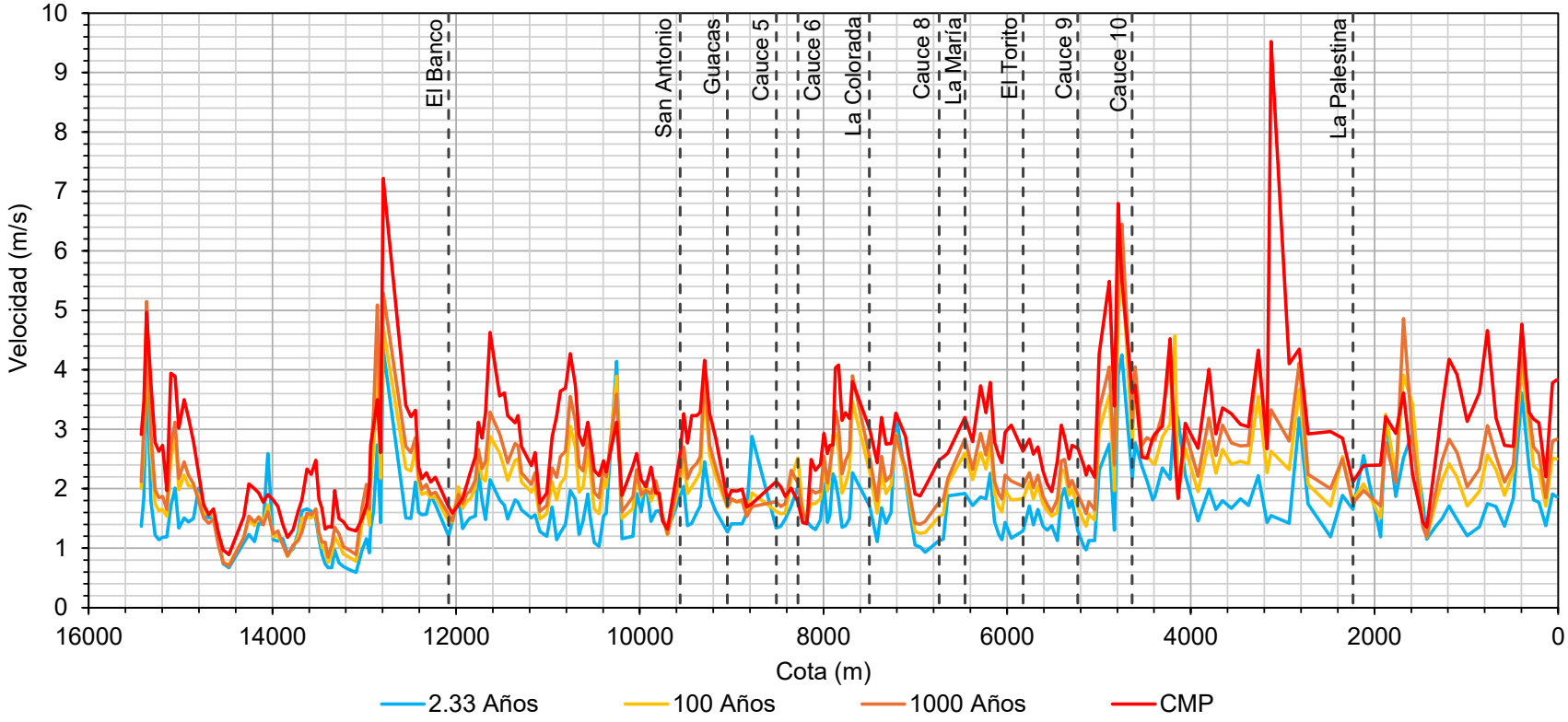


Figura 5.1.5.48 Velocidad del flujo en el río Nus.

Fuente: Integral S.A., 2025

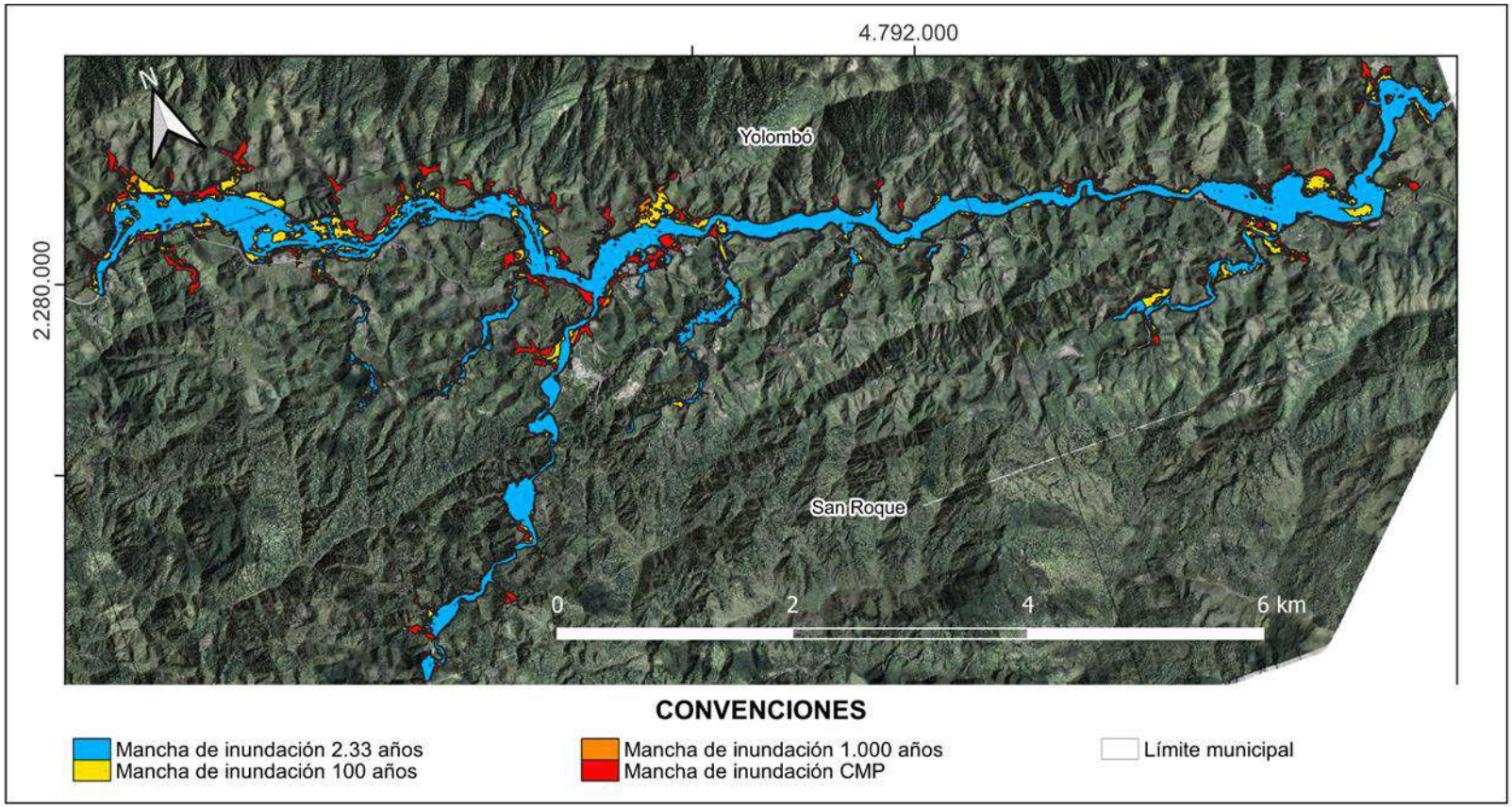


Figura 5.1.5.49 Manchas de inundación para las caudales modelados.

Fuente: Integral S.A., 2025

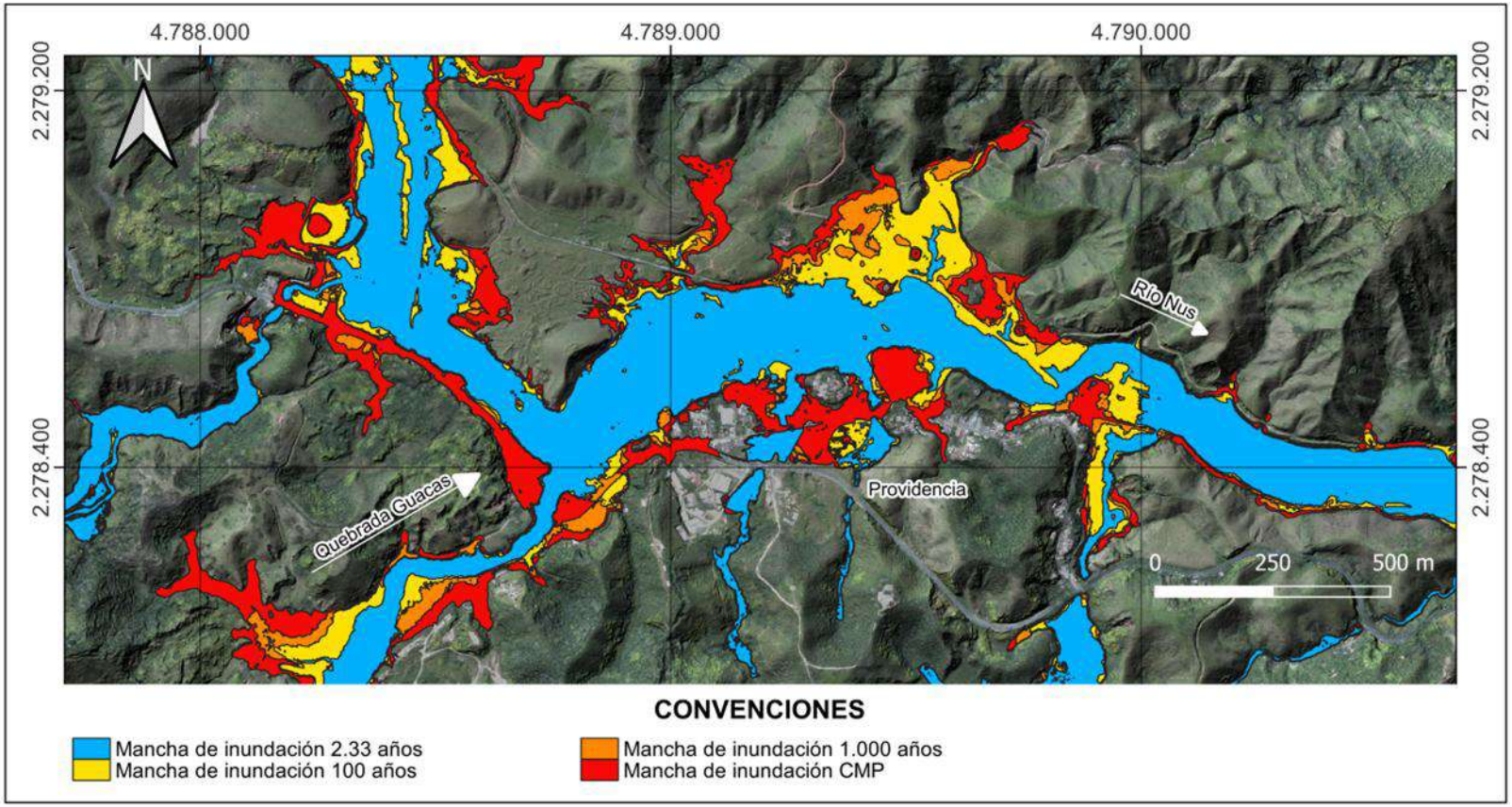


Figura 5.1.5.50 Machas de inundación en la población de providencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

Como se evidencia en la Figura 5.1.5.49, la extensión de las manchas de inundación aumenta conforme se incrementa la magnitud del evento hidrológico, evidenciando una mayor ocupación de las planicies de inundación en escenarios extremos. Sin embargo, se observa que en algunos sectores las diferencias entre la creciente de 1.000 años y la CMP son relativamente bajas. Esta situación se explica bajo el siguiente comportamiento hidráulico: en eventos extremos el flujo se expande lateralmente, incrementando el área mojada y reduciendo la pendiente hidráulica, lo que limita el aumento adicional de la mancha pese al mayor caudal. Además, la penetración del flujo sobre áreas con vegetación densa incrementa la rugosidad efectiva, contribuyendo a la disipación de energía.

Finalmente, es relevante mencionar que se identifica que la población de Providencia se encuentra dentro del área afectada por las manchas de inundación en los escenarios naturales de 2.33, 100, 1.000 y 1’000.000 de años de periodo de retorno (CMP). Lo anterior implica que desde la línea base del proyecto puede identificarse que esta comunidad se encuentra expuesta a riesgos relacionados con el posible tránsito de crecientes máximas sobre el río Nus y sus demás tributarios (ver detalle sobre las manchas de inundación sobre la Figura 5.1.5.50).

BIBLIOGRAFÍA

Alzate Guarín, F. I. (2012). *Flora de los bosques montanos de Medellín.* Medellín: Universidad de Antioquia.

ANLA. (2016). *TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN MINERA.* Bogotá.

ANLA. (2023b). *Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental.* Bogotá: ANLA.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada.* McGraw-Hill International editions.

CORANTIOQUIA. (2022). *Consultiría para elaborar el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrografica de los directos río Cauca - Rio Amagá quebrada sinifana - NSS (2601), localizada en el departamento de antioquia.* Medellin: Corantioquia.

Giraldo-Pamplona, W. C.-O.-Q.-M. (2012). Caracterización estructural de bosque tropical a lo largo de un gradiente altitudinal en el departamento de Antioquia Colombia. *Actualidades Biólogicas*, 111-134.

Grecco, A., & Salazar, L. F. (2012). *Metodología para la determinación de los caudales de garantía ambiental.* Medellín: Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

IDEAM. (2013). *Hoja metodologica del indicador índice de calidad del agua.* (S. d.-I. superficial, Ed.) Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA.* Bogotá D.C.

IDEAM, I. (2015). *Índice de Aridez (IA): Características y Aplicaciones.* IDEAM.

Jaramillo Robledo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Cenicafé*, 288–298.

Kennessey, B. (1930). *Lefolyasi tènyezok ès retencik. Vizugy, Kuziemények.*

Martonne, E. (1926). *Aréisme et Indice d'aridité. Paris: Comptes Rendus de L'Academy of Science.*

MinAmbiente. (2013). *METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS QUE REQUIEREN LICENCIA AMBIENTAL.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica Para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Mojica, J. I., Usma, J. S., & Lasso, R. Á.-L. (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012.* Bogotá, D. C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.

Schumm, S. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological* , 10889 - 1100.

SGC. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa.* Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.

Tardi, A., & Vittorini, S. (1977). *Il calcolo del coefficiente di deflusso su basi fisiografiche.*

Toro Murillo, J. L. (2021). *Árboles de las Montañas de Antioquia.* Medellín: Corantioquia.

Toth, J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *J. Geophys. Res.*, 4795-4811.

Wijngaard, J., Klein Tank, A., & Können, G. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 679-692.

World Meteorological Organization (WMO). (2009). *Guide to Hydrological Practices Vol II.* Geneva: Chairperson, Publications Board.