

ESTUDIO  
DE IMPACTO  
AMBIENTAL - EIA



*isa*  
INTERCOLOMBIA

PROYECTO  
INTERCONEXIÓN  
CARRIELES  
A 230 MIL VOLTIOS

AGOSTO/2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA .....	5-22
5.1 MEDIO ABIÓTICO .....	5-22
5.1.1 Geología.....	5-22
5.1.2 Geología estructural / Tectónica .....	5-37
5.1.3 Sismicidad .....	5-38
5.1.4 Geomorfología.....	5-46
5.1.5 Suelos y Usos del Suelo.....	5-87
5.1.6 Hidrología .....	5-133
5.1.7 Calidad del Agua .....	5-246
5.1.8 Usos del Agua .....	5-282
5.1.9 Hidrogeología .....	5-299
5.1.10 Geotecnia.....	5-330
5.1.11 Atmósfera.....	5-425

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 5-1. Unidades litológicas y formaciones superficiales regionales. ....	5-24
Tabla 5-2. Unidades litológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico... .....	5-35
Tabla 5-3. Parámetros estadísticos de los eventos sísmicos. ....	5-42
Tabla 5-4. Intervalos de frecuencia para la profundidad.....	5-42
Tabla 5-5. Intervalos de frecuencia para la magnitud.....	5-43
Tabla 5-6. Amenaza sísmica.....	5-45
Tabla 5-7. Rangos y categorías de las pendientes el área de influencia del medio abiótico. ....	5-47
Tabla 5-8. Unidades geomorfológicas.....	5-60
Tabla 5-9. Procesos morfodinámicos año 2022. ....	5-62
Tabla 5-10. Procesos morfodinámicos año 2022. ....	5-64
Tabla 5-11. Procesos morfodinámicos año 2020. ....	5-65
Tabla 5-12. Procesos morfodinámicos año 2015. ....	5-66
Tabla 5-13. Categorías de sensibilidad por pendientes.....	5-69
Tabla 5-14. Características generales de las unidades geológicas del área de influencia del medio abiótico. ....	5-69
Tabla 5-15. Categorías de sensibilidad por unidades geológicas.....	5-70
Tabla 5-16. Categorías de sensibilidad por unidades geomorfológicas.....	5-71
Tabla 5-17. Categorías de sensibilidad por coberturas de la tierra.....	5-71
Tabla 5-18. Sensibilidad por distancia a cuerpos de agua naturales.....	5-72
Tabla 5-19. Características relevantes de las unidades hidrogeológicas. ....	5-73
Tabla 5-20. Categorías de sensibilidad por unidades hidrogeológicas. ....	5-74
Tabla 5-21. Categorías de susceptibilidad por procesos morfodinámicos. ....	5-74
Tabla 5-22. Pesos designados a las variables .....	5-75
Tabla 5-23. Susceptibilidad a los movimientos en masa. ....	5-76
Tabla 5-24. Clasificación de las precipitaciones.....	5-76
Tabla 5-25. Categorías de sensibilidad por amenaza sísmica. ....	5-77

Tabla 5-26. Amenaza por movimiento en masa en área de influencia del medio abiótico....	5-78
Tabla 5-27 Descripción de los factores utilizados para el análisis multicriterio en la estimación de la amenaza por avenidas torrenciales. ....	5-80
Tabla 5-28 Factores de análisis utilizados en la metodología multicriterio con su respectiva normalización.....	5-82
Tabla 5-29 Amenaza por avenida torrencial.....	5-86
Tabla 5-30. UCS presentes en el área de influencia abiótica. ....	5-88
Tabla 5-31. Punto muestreo suelos. ....	5-91
Tabla 5-32. Textura, densidad y porosidad del suelo. ....	5-94
Tabla 5-33. pH del suelo.....	5-95
Tabla 5-34. Salinidad del suelo.....	5-95
Tabla 5-35. Evaluación fertilidad.....	5-97
Tabla 5-36. Clasificación de la fertilidad.....	5-97
Tabla 5-37. Fertilidad natural de los pedones muestreados.....	5-98
Tabla 5-38. Zonificación de degradación del suelo por erosión en el área de influencia abiótica. ....	5-100
Tabla 5-39. Zonificación de degradación del suelo por salinización en el área de influencia abiótica. ....	5-102
Tabla 5-40. Zonificación de degradación del suelo por desertificación en el área de influencia abiótica. ....	5-104
Tabla 5-41. Distribución de los usos actuales del suelo en el área de influencia abiótica. ....	5-106
Tabla 5-42. Distribución de las clases agrológicas en el área de influencia abiótica. ....	5-112
Tabla 5-43. Distribución de los usos potenciales del suelo en el área de influencia abiótica. ....	5-118
Tabla 5-44. Conflicto de uso del suelo en el área de influencia abiótica.....	5-123
Tabla 5-45. Usos del suelo que definen las tierras sin conflicto .....	5-124
Tabla 5-46. Usos del suelo que definen el conflicto por subutilización ligera. ....	5-126
Tabla 5-47. Usos del suelo que definen el conflicto por subutilización severa.....	5-126
Tabla 5-48. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización ligera. ....	5-127
Tabla 5-49. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización moderada.	5-128
Tabla 5-50. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización severa. ....	5-128

Tabla 5-51.	Uso del suelo rural vereda Puente Iglesias EOT Fredonia. ....	5-129
Tabla 5-52.	Tratamientos del suelo rural del municipio de Jericó en el área de influencia abiótica. ....	5-132
Tabla 5-53.	Zonificación hidrográfica para las cuencas del área de influencia abiótica. ...	5-134
Tabla 5-54.	Cuencas hidrográficas de estudio abiótica. ....	5-135
Tabla 5-55.	Cuerpos lénticos en el área de influencia abiótica.....	5-138
Tabla 5-56.	Clasificación del índice de compacidad de Gravelius. ....	5-150
Tabla 5-57.	Clasificación del índice de sinuosidad. ....	5-151
Tabla 5-58.	Parámetros morfométricos de las cuencas del área de influencia abiótica. ...	5-152
Tabla 5-59.	Clasificación del factor de forma. ....	5-155
Tabla 5-60.	Clasificación del índice de sinuosidad. ....	5-155
Tabla 5-61.	Clasificación de la pendiente media. ....	5-156
Tabla 5-62.	Clasificación de los patrones de drenaje. ....	5-157
Tabla 5-63.	Estaciones climatológicas. ....	5-161
Tabla 5-64.	Longitud de registro y porcentaje de datos faltantes de las estaciones de estudio. ....	5-163
Tabla 5-65.	Resultados test de normalidad Shapiro-Wilk para las estaciones de estudio abiótica. ....	5-167
Tabla 5-66.	Prueba Mann-Kendall de tendencia en la media para los valores de precipitación media anual. ....	5-172
Tabla 5-67.	Resultados pruebas estadísticas de calidad de la información.....	5-173
Tabla 5-68.	Listado de estaciones del IDEAM empleadas en la definición del mapa de precipitación media anual e isoyetas.....	5-177
Tabla 5-69.	Precipitación media multianual en cada cuenca.....	5-177
Tabla 5-70.	Evapotranspiración real media multianual en cada cuenca. ....	5-183
Tabla 5-71.	Denominación termal. ....	5-187
Tabla 5-72.	Denominación por rangos de precipitación anual.....	5-187
Tabla 5-73.	Caudales mínimos para distintos periodos de retorno de las cuencas identificadas.....	5-191
Tabla 5-74.	Caudal medio de las cuencas identificadas.....	5-192
Tabla 5-75.	Tiempos de concentración de las cuencas identificadas. ....	5-197

Tabla 5-76.	Intensidades para distintos periodos de retorno de las cuencas identificadas. ....	5-199
Tabla 5-77.	Valores del coeficiente de escorrentía de referencia. ....	5-200
Tabla 5-78.	Coeficientes de escorrentía de las cuencas identificadas. ....	5-201
Tabla 5-79.	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) para diferentes periodos de retorno. ....	5-203
Tabla 5-80.	Estación limnigráfica del IDEAM seleccionada para transposición de caudales. ....	5-205
Tabla 5-81.	Caudal ambiental mensual obtenido para las cuencas evaluadas.....	5-209
Tabla 5-82.	Oferta hídrica disponible para las cuencas evaluadas.....	5-211
Tabla 5-83.	Distancias mínimas de cada torre a las zonas de retiro y/o rondas hídricas..	5-225
Tabla 5-84.	Tipos de valle fluviales. ....	5-227
Tabla 5-85.	Relación de encajonamiento. ....	5-229
Tabla 5-86.	Grado de sinuosidad. ....	5-229
Tabla 5-87.	Corrientes superficiales objeto de estudio. ....	5-231
Tabla 5-88.	Información satelital disponible para las corrientes analizadas. ....	5-231
Tabla 5-89.	Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente del río Cauca. ....	5-233
Tabla 5-90.	Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente de la quebrada La Ardita..	5-235
Tabla 5-91.	Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente del Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN). ....	5-237
Tabla 5-92.	Categorías del IRH. ....	5-240
Tabla 5-93.	Valor y categoría del IRH para las cuencas objeto de estudio.....	5-242
Tabla 5-94.	Categorías del índice de aridez.....	5-244
Tabla 5-95.	Índice de aridez (AI) en el área de influencia abiótica. ....	5-245
Tabla 5-96.	Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica. ....	5-248
Tabla 5-97.	Resultados de la caracterización física, química y microbiológica.....	5-250
Tabla 5-98.	Continuación Resultados de la caracterización física, química y microbiológica.....	5-252
Tabla 5-99.	Límites máximos permisibles Decreto 1076 DE 2015, para Coliformes.....	5-260
Tabla 5-100.	Cumplimiento de los criterios de destinación del recurso hídrico.....	5-270
Tabla 5-101.	Peso y valores ponderados para la metodología de Calidad de Agua..	5-271

Tabla 5-102.	Funciones correspondientes para cada parámetro. ....	5-272
Tabla 5-103.	Rangos de ponderación para la calidad del agua.....	5-273
Tabla 5-104.	Resultado del WQI.....	5-274
Tabla 5-105.	Escala de Clasificación de los ICO's. ....	5-275
Tabla 5-106.	Clasificación índice ICOTRO.....	5-277
Tabla 5-107.	Ponderación de variables ICA-IDEAM. ....	5-277
Tabla 5-108.	Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA-IDEAM. .....	5-278
Tabla 5-109.	Resultados índices de contaminación. ....	5-279
Tabla 5-110.	Índice de calidad-IDEAM.....	5-279
Tabla 5-111.	Escala de clasificación del IACAL. ....	5-281
Tabla 5-112.	Resultados del Índice de alteración potencial de la calidad del agua-IACAL. .....	5-281
Tabla 5-113.	Inventario de usuarios del recurso hídrico para las cuencas objeto de estudio. .....	5-284
Tabla 5-114.	Categorías del IUA.....	5-294
Tabla 5-115.	Índice de Uso del Agua para las cuencas objeto de estudio.....	5-295
Tabla 5-116.	Matriz Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH). ...	5-297
Tabla 5-117.	Resultados del IVH para cada una de las cuencas objeto de estudio. .	5-297
Tabla 5-118.	Descripción del sistema acuífero más cercano al área de influencia del medio abiótico. ....	5-300
Tabla 5-119.	Clasificación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) .....	5-303
Tabla 5-120.	Extensión de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico. ....	5-307
Tabla 5-121.	Ponderación potencial de la recarga hídrica según tipo de pendiente (Pend). .....	5-310
Tabla 5-122.	Ponderación potencial de la recarga hídrica del suelo según su textura (Ts). .....	5-310
Tabla 5-123.	Ponderación de la potencial de la recarga hídrica según el tipo de roca (Tr). .....	5-311
Tabla 5-124.	Ponderación potencial de la recarga hídrica según la densidad de la cobertura (Cve).....	5-311

Tabla 5-125. Ponderación potencial de la recarga hídrica según el uso del suelo (Us).....	5-312
Tabla 5-126. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto. ....	5-312
Tabla 5-127. Potencial de recarga por pendientes.....	5-313
Tabla 5-128. Potencial de recarga por textura del suelo. ....	5-314
Tabla 5-129. Potencial de recarga por tipo de roca / permeabilidad.....	5-316
Tabla 5-130. Valoración de los resultados del cálculo del NDVI. ....	5-317
Tabla 5-131. Potencial de recarga según el uso del suelo .....	5-319
Tabla 5-132. Potencial de recarga .....	5-321
Tabla 5-133. Zonas de recarga, tránsito y descarga. ....	5-321
Tabla 5-134. Puntos de agua identificados en el área de influencia del medio abiótico. ....	5-324
Tabla 5-135. Parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> medidos en el AI abiótica.....	5-327
Tabla 5-136. Rangos de vulnerabilidad del método GOD. ....	5-328
Tabla 5-137. Resultado de la vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas a la contaminación.....	5-329
Tabla 5-138. Categorías de vulnerabilidad a la contaminación del AI física. ....	5-329
Tabla 5-139. Categorías de susceptibilidad geotécnica. ....	5-331
Tabla 5-140. Pesos designados a las variables. ....	5-332
Tabla 5-141. Categorías de susceptibilidad geotécnica. ....	5-332
Tabla 5-142. Áreas de zonificación geotécnica.....	5-333
Tabla 5-143. Localización sondeos Pórtico SE. ....	5-335
Tabla 5-144. Perfil estratigráfico sondeo 9.....	5-336
Tabla 5-145. Perfil estratigráfico sondeo 10.....	5-337
Tabla 5-146. Cantidad mínima y profundidad de sondeos en el área de la subestación. ...	5-340
Tabla 5-147. Localización de sondeos y apiques.....	5-340
Tabla 5-148. Resultados ensayos de campo. ....	5-344
Tabla 5-149. Cantidades de ensayos.....	5-347
Tabla 5-150. Resultados de ensayos.....	5-348
Tabla 5-151. Localización líneas de refracción. ....	5-353



Tabla 5-152.	Parámetros de adquisición de los registros para el ensayo de refracción sísmica.....	5-353
Tabla 5-153	Vs30 Línea de refracción sísmica 1. ....	5-356
Tabla 5-154.	Vs30 Línea de refracción sísmica 2. ....	5-360
Tabla 5-155.	Localización sondeos torre T-1M. ....	5-362
Tabla 5-156.	Perfil estratigráfico sondeo 7.....	5-363
Tabla 5-157.	Perfil estratigráfico sondeo 8.....	5-364
Tabla 5-158.	Localización sondeos torre T-3M. ....	5-367
Tabla 5-159.	Perfil estratigráfico sondeo 3.....	5-367
Tabla 5-160.	Perfil estratigráfico sondeo 4.....	5-368
Tabla 5-161.	Localización sondeos torre T-5M. ....	5-370
Tabla 5-162.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-371
Tabla 5-163.	Perfil estratigráfico sondeo 2.....	5-371
Tabla 5-164.	Localización sondeos torre T-8M. ....	5-375
Tabla 5-165.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-375
Tabla 5-166.	Perfil estratigráfico sondeo 2.....	5-376
Tabla 5-167.	Localización sondeos torre T-6M. ....	5-378
Tabla 5-168.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-379
Tabla 5-169.	Localización sondeos torre T-9M. ....	5-381
Tabla 5-170.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-382
Tabla 5-171.	Perfil estratigráfico sondeo 2.....	5-383
Tabla 5-172.	Localización sondeos torre T-12M. ....	5-385
Tabla 5-173.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-386
Tabla 5-174.	Perfil estratigráfico sondeo 2.....	5-387
Tabla 5-175.	Localización sondeos torre T-13M. ....	5-389
Tabla 5-176.	Perfil estratigráfico sondeo 1.....	5-390
Tabla 5-177.	Perfil estratigráfico sondeo 2.....	5-391
Tabla 5-178.	Localización sondeos torre T-14M. ....	5-393
Tabla 5-179.	Perfil estratigráfico sondeo 5.....	5-394
Tabla 5-180.	Perfil estratigráfico sondeo 6.....	5-395
Tabla 5-181.	Localización sondeos torre T-15M. ....	5-397

Tabla 5-182.	Perfil estratigráfico sondeo 13.....	5-398
Tabla 5-183.	Perfil estratigráfico sondeo 14.....	5-399
Tabla 5-184.	Localización sondeos torre T-17M. ....	5-401
Tabla 5-185.	Perfil estratigráfico sondeo 7.....	5-402
Tabla 5-186.	Perfil estratigráfico sondeo 8.....	5-403
Tabla 5-187.	Localización de sondeos.....	5-405
Tabla 5-188.	Resultados ensayos de campo. ....	5-406
Tabla 5-189.	Cantidades ensayos de laboratorio. ....	5-408
Tabla 5-190.	Resultados ensayos de laboratorio. ....	5-408
Tabla 5-191.	Índice de liquidez de suelos .....	5-410
Tabla 5-192.	Clasificación parámetros de agresividad química.....	5-412
Tabla 5-193.	Tabla de clasificación agresividad química. ....	5-412
Tabla 5-194.	Resultados de ensayos y agresividad química.....	5-413
Tabla 5-195.	Tabla de agresividad química al concreto .....	5-414
Tabla 5-196.	Clasificación del comportamiento del suelo.....	5-417
Tabla 5-197.	Parámetros de resistencia del suelo. ....	5-417
Tabla 5-198.	Análisis de capacidad portante .....	5-418
Tabla 5-199.	Resultados de factor de seguridad.....	5-424
Tabla 5-200.	Clasificación de la amenaza en un talud. ....	5-424
Tabla 5-201.	Categoría de amenaza taludes de sitios de torre analizados. ....	5-425
Tabla 5-202.	Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1. ....	5-426
Tabla 5-203.	Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2. ....	5-428
Tabla 5-204.	Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 3. ....	5-429
Tabla 5-205.	Número de incendios teledetectados por mes y año.....	5-431
Tabla 5-206.	Localización Aforo Vehicular. ....	5-434
Tabla 5-207.	Datos de tránsito diario (TPD) y tipo de flota vehicular.....	5-435
Tabla 5-208.	Receptores de interés.....	5-438
Tabla 5-209.	Fecha y Hora de monitoreo.....	5-443
Tabla 5-210.	Resumen variables meteorológicas promedio diario. ....	5-443
Tabla 5-211.	Escala de Beaufort.....	5-445

Tabla 5-212.	Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición. ....	5-451
Tabla 5-213.	Temperatura media, mínima y máxima mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030). ....	5-452
Tabla 5-214.	Presión atmosférica en los sitios donde se encuentran ubicadas las estaciones Túnez Hda. ....	5-453
Tabla 5-215.	Presión media mensual (mBar) – Estación Túnez Hacienda.....	5-454
Tabla 5-216.	Precipitación media mensual multianual. ....	5-455
Tabla 5-217.	Humedad relativa media mensual – Estación Túnez Hda. ....	5-456
Tabla 5-218.	Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030). ....	5-457
Tabla 5-219.	Radiación solar mensual total (kWh/m <sup>2</sup> )- Estación Túnez Hda.....	5-467
Tabla 5-220.	Receptores de Interés.....	5-469
Tabla 5-221.	Ubicación puntos de monitoreo de ruido ambiental.....	5-471
Tabla 5-222.	Inventario de fuentes de ruido ambiental consideradas en el escenario de construcción.....	5-481
Tabla 5-223.	Inventario de fuentes de ruido industrial consideradas en el escenario de operación.....	5-484
Tabla 5-224.	Análisis de niveles de ruido esperados en receptores sensibles. ....	5-496

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 5-1. Geología regional en el área de influencia del medio abiótico. ....	5-25
Figura 5-2. Afloramientos de rocas de la Formación Combia: a) Tobas; b) madera carbonizada en tobas; c) secuencia de basaltos y tobas; d) toba de lapilli litocristalina. ....	5-29
Figura 5-3. Columna estratigráfica generalizada para el área de influencia del medio abiótico.....	5-34
Figura 5-4. Geología local para el área de influencia del medio abiótico. ....	5-35
Figura 5-5. Geología local y perfil geológico para el área de influencia del medio abiótico. ....	5-36
Figura 5-6. Localización de perfil geológico.....	5-36
Figura 5-7. Estructura geológica regional. ....	5-38
Figura 5-8. Proyección de las fallas en superficie.....	5-40
Figura 5-9. Corredores para la asignación de eventos a fuentes corticales. ....	5-41
Figura 5-10. Eventos sísmicos en un radio de 25 km alrededor del área de influencia del medio abiótico.....	5-44
Figura 5-11. Amenaza Sísmica. ....	5-46
Figura 5-12. Pendientes en el área de influencia del medio abiótico. ....	5-48
Figura 5-13. Esquema de jerarquización geomorfológica.....	5-49
Figura 5-14. Panorámica área de influencia con las unidades geomorfológicas superpuestas.....	5-51
Figura 5-15. Cono de Deyección (Fcdy). Expresión geomorfológica en el AI del medio abiótico.....	5-57
Figura 5-16. Unidades geomorfológicas del área de influencia del medio abiótico.....	5-61
Figura 5-17. Procesos morfodinámicos año 2022. ....	5-64
Figura 5-18. Procesos morfodinámicos año 2020. ....	5-66
Figura 5-19. Procesos morfodinámicos año 2015. ....	5-67
Figura 5-20. Amenaza por movimiento en masa. ....	5-79
Figura 5-21. Representación gráfica de la operación “Suma” en la herramienta “Ráster Calculator” del software ArcGIS 10.2.....	5-85
Figura 5-22. Amenaza por avenida torrencial.....	5-86

Figura 5-23. UCS presentes en el área de influencia abiótica. ....	5-89
Figura 5-24. Puntos de muestreo y vista de perfiles. ....	5-92
Figura 5-25. Puntos muestreo UCS. ....	5-93
Figura 5-26. Zonificación de degradación de suelos por erosión en el área de influencia abiótica.....	5-101
Figura 5-27. Zonificación degradación del suelo por salinización en el área de influencia abiótica.....	5-103
Figura 5-28. Zonificación de degradación del suelo por desertificación en el área de influencia abiótica.....	5-105
Figura 5-29. Uso actual del suelo en el área de influencia abiótica. ....	5-107
Figura 5-30. Clases agrológicas del suelo en el área de influencia abiótica. ....	5-117
Figura 5-31. Distribución de los usos potenciales en el área de influencia abiótica. ....	5-121
Figura 5-32. Matriz de decisión de conflictos por uso del suelo. ....	5-122
Figura 5-33. Distribución de los conflictos de uso del suelo en el área de influencia abiótica. ....	5-123
Figura 5-34. Tratamientos del suelo rural del municipio de Jericó en el área de influencia abiótica.....	5-133
Figura 5-35. Subzonas hidrográficas en el área de influencia abiótica. ....	5-135
Figura 5-36. Fr hidrográficas en el área de influencia abiótica.....	5-137
Figura 5-37. Cuerpos lénticos en el área de influencia abiótica.....	5-139
Figura 5-38. Cuerpos lóticos en el área de influencia abiótica.....	5-142
Figura 5-39. Mapa de pendientes asociado a la zona de anegación (subestación Carrieles). ....	5-143
Figura 5-40. Usos actuales del suelo en la zona de anegación. ....	5-144
Figura 5-41. Análisis multitemporal de imágenes satelitales (Google Earth® – SAG, 2022). ....	5-147
Figura 5-42. Sistemas hídricos ajustados según el Requerimiento 18 del Expediente LAV0019-00-2024. ....	5-148
Figura 5-43. Clasificación de los patrones de drenaje. ....	5-158
Figura 5-44. Representación gráfica de registros existentes y faltantes estaciones climatológicas.....	5-162
Figura 5-45. Curva de doubles masas de la estación Túnez Hacienda (26175040). ....	5-164
Figura 5-46. Curva de doubles masas de la estación La Salada (27015260). ....	5-165

Figura 5-47. Prueba F de cambio en la varianza de la estación Betania Las Guacas (26190090).....	5-168
Figura 5-48. Prueba T de cambio en la media estación Montebello (26180200). .....	5-170
Figura 5-49. Prueba de Pettit para evaluación de cambio en la media en la estación El Dique (26170190).....	5-171
Figura 5-50. Distribución espacial de la precipitación media multianual e isoyetas en el área de influencia abiótica.....	5-179
Figura 5-51. Distribución espacial de la temperatura media en el área de influencia abiótica. ....	5-181
Figura 5-52. Distribución espacial de la ETR método de Cenicafé – Budyko en el área de influencia abiótica.....	5-185
Figura 5-53. Distribución espacial de la ETR método de Turc en el área de influencia abiótica.....	5-186
Figura 5-54. Leyenda del mapa de zonificación climática.....	5-188
Figura 5-55. Zonificación climática del área de influencia abiótica.....	5-189
Figura 5-56. Curva IDF estación ITA Andes 26195020. ....	5-199
Figura 5-57. Cuenca del río Bolívar y de la estación Limnigráfica Brasilia (26197020), utilizados para la transposición de caudales.....	5-206
Figura 5-58. Simulación de caudal anual en la cuenca La Ardita.....	5-207
Figura 5-59. Curva de duración de caudal de la estación La Ardita.....	5-207
Figura 5-60. Diagramas de cajas mensuales de la cuenca de la quebrada La Ardita. ....	5-208
Figura 5-61. Verificación preliminar de la franja de retiro a cuerpos de agua.....	5-214
Figura 5-62. Mancha de inundación sobre la fuente de interés escenario QTr 15 años (Torre T-13M). ....	5-215
Figura 5-63. Sección transversal para el escenario QTr 15 años (Torre T-13M). .....	5-216
Figura 5-64. Detalle mancha Tr 15 años y buffer 100 m desde bancas activas del canal (Torre 13-M).....	5-216
Figura 5-65. Ronda hídrica sector torre T-13M.....	5-217
Figura 5-66. Mancha de inundación Tr 100 años T-13M. ....	5-218
Figura 5-67. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años sitio de torre T-13M.....	5-219
Figura 5-68. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años. Descarga 1. ....	5-220
Figura 5-69. Detalle mancha de inundación para el escenario de Tr = 100 años. Descarga 1.....	5-221

Figura 5-70. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años. Descarga 2. ....	5-222
Figura 5-71. Detalle mancha de inundación para el escenario de Tr = 100 años. Descarga 2.....	5-223
Figura 5-72. Ronda hídrica definida para el Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN). ..	5-224
Figura 5-73. Clasificación de la corriente a partir de su pendiente longitudinal, sección transversal y vista en planta. ....	5-230
Figura 5-74. Clasificación de ríos. ....	5-231
Figura 5-75. Tramo de estudio del cauce del Río Cauca.....	5-232
Figura 5-76. Dinámica fluvial del cauce del Río Cauca para el tramo de estudio.....	5-233
Figura 5-77. Tramo de estudio del cauce de la quebrada La Ardital.....	5-234
Figura 5-78. Dinámica fluvial del cauce de la quebrada La Ardita para el tramo de estudio. ....	5-236
Figura 5-79. Tramo de estudio del cauce del Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN). ..	5-237
Figura 5-80. Dinámica fluvial del cauce del Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN) para el tramo de estudio. ....	5-238
Figura 5-81. Esquematización de la curva de duración de caudales y los volúmenes para el cálculo del IRH.....	5-240
Figura 5-82. IRH para la cuenca de la quebrada La Ardita. ....	5-241
Figura 5-83. Índice de regulación hídrica en las cuencas objeto de estudio. ....	5-242
Figura 5-84. Índice de aridez en las cuencas objeto de estudio.....	5-245
Figura 5-85. Localización puntos de monitoreo de calidad de agua, Área de influencia abiótica.....	5-247
Figura 5-86. Temperatura del agua registrada en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-256
Figura 5-87. pH del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-257
Figura 5-88. Oxígeno Disuelto del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica. ....	5-258
Figura 5-89. Conductividad eléctrica del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica. ....	5-259
Figura 5-90. <i>Escherichia Coli</i> registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-261
Figura 5-91. Coliformes totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-262

Figura 5-92. Sólidos disueltos, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-263
Figura 5-93. Sólidos suspendidos totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica. ....	5-264
Figura 5-94. Sólidos totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-265
Figura 5-95. Ortofosfatos en el agua, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-266
Figura 5-96. Fósforo total del agua, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.....	5-267
Figura 5-97. Resultado del WQI. ....	5-274
Figura 5-98. Localización de los usuarios del agua en las cuencas objeto de estudio.	5-292
Figura 5-99. Porcentaje de usos del agua en las cuencas objeto de estudio.....	5-293
Figura 5-100. Índice de Uso del agua en las cuencas objeto de estudio. ....	5-296
Figura 5-101. Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento en las cuencas objeto de estudio.....	5-299
Figura 5-102. Sistema de acuíferos de Colombia. ....	5-302
Figura 5-103. Unidades hidrogeológicas del área de influencia del medio abiótico.	5-308
Figura 5-104. Perfil hidrogeológico del modelo conceptual.....	5-309
Figura 5-105. Localización de perfil hidrogeológico. ....	5-309
Figura 5-106. Potencial de recarga de acuerdo con la pendiente. ....	5-314
Figura 5-107. Potencial de recarga de acuerdo con la clase textural del suelo. ....	5-315
Figura 5-108. Potencial de recarga de acuerdo con el tipo de roca / permeabilidad. ....	5-316
Figura 5-109. Potencial de recarga de acuerdo con la densidad de la cobertura vegetal. ....	5-318
Figura 5-110. Potencial de recarga de acuerdo con el uso del suelo.....	5-319
Figura 5-111. Potencial de recarga del área de influencia abiótica. ....	5-320
Figura 5-112. Zonas de recarga, tránsito y descarga.....	5-322
Figura 5-113. Esquema conceptual de las zonas de descarga y dirección de flujo.	5-323
Figura 5-114. Inventario de puntos de agua en el agua de influencia del medio abiótico. ....	5-326
Figura 5-115. Vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas a la contaminación.	5-330
Figura 5-116. Zonificación de aptitud geotécnica. ....	5-334



Figura 5-117.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-338
Figura 5-118.	Localización exploración directa (sondeos).....	5-341
Figura 5-119.	Localización exploración directa (apiques).....	5-342
Figura 5-120.	Localización ensayos geofísicos.....	5-343
Figura 5-121.	Domocronas LSR-1.....	5-354
Figura 5-122.	Tomografía por el ensayo de refracción - Línea Sísmica 1 (Unidades en m/s y m). .....	5-355
Figura 5-123	Perfil 1D LSR-1 (Unidades en m/s y m).....	5-356
Figura 5-124.	Perfil 2D de velocidad de onda Vs. ....	5-357
Figura 5-125.	Domocronas LSR-2.....	5-358
Figura 5-126.	Tomografía por el ensayo de refracción - Línea Sísmica 2 (Unidades en m/s y m). .....	5-359
Figura 5-127.	Perfil 1D LSR 2 (Unidades en m/s y m).....	5-360
Figura 5-128.	Perfil 2D Velocidad de corte Vs. ....	5-361
Figura 5-129.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-365
Figura 5-130.	Resumen correlaciones (SPT) .....	5-369
Figura 5-131.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-373
Figura 5-132.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-377
Figura 5-133.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-380
Figura 5-134.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-384
Figura 5-135.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-388
Figura 5-136.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-392
Figura 5-137.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-396
Figura 5-138.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-400
Figura 5-139.	Resumen correlaciones (SPT).....	5-404
Figura 5-140.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-1M en condiciones estáticas.....	5-419
Figura 5-141.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-1M en condiciones seudo estáticas.....	5-420
Figura 5-142.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-3M en condiciones estáticas.....	5-421
Figura 5-143.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-3M en condiciones seudo estáticas.....	5-422

Figura 5-144.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-5M en condiciones estáticas. ....	5-423
Figura 5-145.	Estabilidad del talud del sitio de torre T-5M en condiciones pseudo estáticas. ....	5-423
Figura 5-146.	Incendios detectados por el satélite FIRMS .....	5-431
Figura 5-147.	Fuentes dispersas a partir de coberturas del suelo. ....	5-432
Figura 5-148.	Trazado de fuentes móviles en el AI abiótica del proyecto. ....	5-433
Figura 5-149.	Localización aforo vehicular. ....	5-434
Figura 5-150.	Composición de la flota vehicular. ....	5-435
Figura 5-151.	Tránsito Promedio diario (TPD). ....	5-436
Figura 5-152.	Emisiones estimadas para fuentes móviles. ....	5-437
Figura 5-153.	Variabilidad mensual de las emisiones estimadas de PM10 y PM2.5. ....	5-438
Figura 5-154.	Receptores de interés. ....	5-441
Figura 5-155.	Ubicación estaciones de monitoreo de calidad del aire. ....	5-442
Figura 5-156.	Velocidad del viento durante el tiempo de muestreo. ....	5-444
Figura 5-157.	Rosa de vientos. ....	5-446
Figura 5-158.	Datos de calidad del aire para PM10. ....	5-447
Figura 5-159.	Datos de calidad del aire para PM2.5. ....	5-448
Figura 5-160.	Registro horario CO. ....	5-449
Figura 5-161.	Registro Octohorario CO. ....	5-450
Figura 5-162.	Temperatura media, mínima y máxima mensual multianual - Estación La Granja Nacional (26175030). ....	5-452
Figura 5-163.	Temperatura máxima y mínima diaria (C°) – Estación Túnez Hda... ..	5-453
Figura 5-164.	Presión media mensual (mBar) – Estación Túnez Hda. ....	5-454
Figura 5-165.	Precipitación media mensual multianual - E. estación Túnez Hacienda (26175040). ....	5-455
Figura 5-166.	Precipitación media mensual multianual – Estación Dique El (26170190). .....	5-456
Figura 5-167.	Humedad Relativa media mensual – Estación Túnez Hacienda. ....	5-457
Figura 5-168.	Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030). ....	5-458
Figura 5-169.	Velocidad media del viento. ....	5-459

Figura 5-170.	Ciclo anual de la dirección de los vientos.....	5-460
Figura 5-171.	Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Túnez Hda. ....	5-461
Figura 5-172.	Rosa de vientos anuales (m/s) estación Tunez Hda. ....	5-462
Figura 5-173.	Velocidad del viento horaria.....	5-463
Figura 5-174.	Rosa de vientos diurna. ....	5-464
Figura 5-175.	Rosa de vientos nocturna. ....	5-465
Figura 5-176.	Rosa de vientos total. ....	5-466
Figura 5-177.	Radiación solar anual (kWh/m2) – Estación Túnez Hda. ....	5-467
Figura 5-178.	Radiación solar mensual total (kWh/m²)- Estación Túnez Hda.....	5-468
Figura 5-179	Ubicación de puntos de monitoreo de ruido ambiental. ....	5-473
Figura 5-180	Resultados de ruido ambiental jornada diurna.....	5-474
Figura 5-181	Resultados de ruido ambiental jornada nocturna.....	5-475
Figura 5-182.	Licencia de SoundPLAN Noise 9.0 de SAG S.A. ....	5-477
Figura 5-183.	Configuración de cálculo en SoundPLAN. ....	5-478
Figura 5-184.	Distribución de datos de aforos para caracterizar escenario de línea base. ....	5-479
Figura 5-185.	Fuentes consideradas en el escenario de línea base – SoundPLAN. ....	5-480
Figura 5-186.	Fuentes consideradas en el escenario de construcción – SoundPLAN.....	5-484
Figura 5-187.	Fuentes consideradas en el escenario de operación – SoundPLAN.5-486	
Figura 5-188.	Mapa de ruido Escenario de línea base día ordinario periodo diurno.....	5-487
Figura 5-189.	Mapa de ruido Escenario de línea base día ordinario periodo nocturno. ...	5-488
Figura 5-190.	Mapa de ruido Escenario de construcción día ordinario periodo diurno. ...	5-490
Figura 5-191.	Mapa de ruido de línea base sumando los aportes de construcción, día ordinario periodo diurno. ....	5-492
Figura 5-192.	Mapa de ruido Escenario de operación día ordinario periodo diurno.5-494	
Figura 5-193.	Mapa de ruido Escenario de operación día ordinario periodo nocturno.....	5-495

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 5-1. Formación Amagá Miembro Superior al margen derecho del río Cauca (Norte: 2.201.720,319 y Este: 4.707.135,929).....	5-27
Fotografía 5-2. Areniscas conglomeráticas al margen derecho del río Cauca (Norte: 2.201.720,319 y Este: 4.707.135,929).....	5-28
<b>Fotografía 5-3. Visual a depósito de vertiente en el margen izquierdo del área de influencia del medio abiótico.....</b>	<b>5-30</b>
<b>Fotografía 5-4. Depósitos de vertiente sobre el margen derecho del río Cauca (Este: 4.701.812,360 y Norte: 2.202.708,105).....</b>	<b>5-31</b>
Fotografía 5-5. A) Depósito aluvial sobre la quebrada La Rosala. B) Depósito aluvial la quebrada La Ardita.....	5-32
<b>Fotografía 5-6. Columna identificada en campo para un depósito aluvial (Este: 4.704.091,851 y Norte: 2.201.127,803).....</b>	<b>5-33</b>
Fotografía 5-7. Panorámica área de influencia con las unidades geomorfológicas superpuestas.....	5-52
Fotografía 5-8. Expresión geomorfológica de Cuesta (Sc) en el área de influencia del medio abiótico.....	5-54
Fotografía 5-9. Expresión geomorfológica de ladera estructural de cuesta (Scle) en el área de influencia del medio abiótico.....	5-55
Fotografía 5-10. Expresión geomorfológica de plano o llanura de inundación (Fpi) en el AI del medio abiótico.....	5-58
Fotografía 5-11. Expresión geomorfológica de cauce aluvial (Fca) en el AI del medio abiótico.....	5-59
Fotografía 5-12. Ganadería.....	5-108
Fotografía 5-13. Ganadería.....	5-108
Fotografía 5-14. Cultivo de limón.....	5-109
Fotografía 5-15. Cultivo de limón.....	5-110
Fotografía 5-16. Cobertura de plantación forestal.....	5-110
Fotografía 5-17. Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), retiros de cuerpos de agua.....	5-111
<b>Fotografía 5-18. Acequias utilizadas para el manejo de la escorrentía en la zona de anegación (2022).....</b>	<b>5-145</b>
<b>Fotografía 5-19. Zona de Anegación (presencia de vegetación hidrofílica).....</b>	<b>5-145</b>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO\_5\_1\_1\_SISMICIDAD  
ANEXO\_5\_1\_2\_SUELO  
ANEXO\_5\_1\_3\_CURVA\_DOBLE\_MASAS  
ANEXO\_5\_1\_4\_VARIANZA\_F\_TEST  
ANEXO\_5\_1\_5\_CAMBIO\_T\_TEST  
ANEXO\_5\_1\_6\_PRUEBAS\_PETTIT  
ANEXO\_5\_1\_7\_PRUEBAS\_INDEPEN  
ANEXO\_5\_1\_8\_CURVA\_DURACION\_CAUDAL  
ANEXO\_5\_1\_9\_SERIES  
ANEXO\_5\_1\_10\_DINAMICA\_FLUVIAL  
ANEXO\_5\_1\_11\_CALIDAD\_AGUA  
ANEXO\_5\_1\_12\_HIDROGEOLOGIA  
ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA  
ANEXO\_5\_1\_14\_RTA\_CORANTIOQUIA  
ANEXO\_5\_1\_15\_MONITOREOS  
ANEXO\_5\_1\_16\_INV\_FTES\_MOVIL  
ANEXO\_5\_1\_17\_MDRA  
ANEXO\_5\_1\_18\_RONDAS\_HIDRICAS

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1 MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.1 Geología

El desarrollo del componente geológico comprendió dos (2) fases de trabajo: Una fase preliminar y una de trabajo de gabinete (procesamiento de información y elaboración de documentos). Por otro lado, se realizó el ajuste de la cartografía geológica apoyado en fointerpretación y en el modelo de elevación digital (DEM 12,5).

- Estratigrafía / Caracterización litológica

La descripción de las unidades litológicas y rasgos estructurales se realizó mediante dos (2) actividades referidas a continuación. La búsqueda exhaustiva y análisis de la memoria y plancha geológica del área de influencia del medio abiótico, publicada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), estudios realizados por particulares y/o entidades públicas, cartografía base y temática disponible, entre otros. Los documentos revisados y analizados fueron:

- Plancha y memoria explicativa 166 - Jericó escala 1:100.000
- Plancha y memoria explicativa 166 - Jericó escala 1:50.000
- Informe de suelos - EDEMSA S.A. y FERTECNICA G.- GEOTECK SM SAS del año 2021

Adicionalmente, esta información fue verificada durante la campaña de campo realizada por SAG para el Diagnóstico Ambiental de Alternativas – DAA, entre el 28 de febrero y el 14 de marzo de 2021, y la campaña de campo realizada del 17 al 19 mayo de 2022 para el Estudio de Impacto Ambiental - EIA.

A partir de los documentos y cartografía analizada, se ajustó la escala de las unidades geológicas regionales de las Planchas 166-Jericó suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) anteriormente llamado INGEOMINAS a escala 1:100.000 y 1:50.000, para obtener el mapa geológico y estructural para el área de influencia abiótica.

- Geología estructural / Tectónica

Para la identificación y descripción del marco tectónico y estructural a nivel regional y local se utilizaron las planchas de INGEOMINAS<sup>1</sup>, hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC) y las planchas del Atlas de Amenaza Sísmica Colombiana a escala 1:100.000<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> INGEOMINAS. 1996. Atlas de Amenaza Sísmica de Colombia. Escala 1: 100.000.

<sup>2</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. 2009. Estudio general de Amenaza Sísmica de Colombia 2009. p. 98-126.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

Luego de consultadas y definidas las principales estructuras geológicas en el área de influencia abiótica, se realizó un trabajo de interpretación de sensores remotos adquiridos por el proyecto.

El trabajo de interpretación de los sensores remotos disponibles, consistió en la identificación de rasgos tectónicos presentes como fallas, plegamientos, lineamientos, etc., con los respectivos datos de dirección y buzamiento.

Lo que se obtuvo al final, fue la elaboración del mapa de estructuras: a partir del mapa geológico a escala 1:25.000, se ajustó el mapa de fallas de la zona para que coincidieran según los contactos, topografía, entre otros.

### 5.1.1.1 Estratigrafía/Caracterización litológica

En el área de influencia del medio abiótico, a nivel regional, afloran sedimentos de la Formación Amagá donde la topografía está determinada por el buzamiento leve de los estratos. En los sitios donde a ellos se superponen condiciones tectónicas, la morfología está definida por una serie de bloques que internamente presentan un relieve poco pronunciado<sup>3</sup>. En las áreas donde comienzan a aflorar las rocas volcánicas de la Formación Combia, se presentan escarpes pronunciados con cambios de relieves<sup>4</sup>.

En el presente numeral se describen las unidades litológicas y las formaciones superficiales presentes en el área de influencia del medio abiótico a nivel regional.

#### 5.1.1.1.1 Cenozoico

- Pórfido Andesítico

Estos cuerpos representan los últimos vestigios del magmatismo que afectó las cordilleras Occidental y Central. Entre ellas hay diferencias mineralógicas basadas en la presencia o ausencia de biotita, augita, hornblenda y cuarzo. Otras características importantes son el porcentaje de fenocristales que pueden alcanzar hasta el 30% de la roca. La textura es porfídica<sup>5</sup>.

- Formación Amagá

Según el SGC, los sedimentos que afloran en esta Formación son de ambiente continental y forman un gran depósito fluvio – lacustre, inicialmente fue estudiada por Grosse (1926), Van der Hammen (1960) y por González H. (1976), quién lo denominó Formación Amagá<sup>6</sup>. La edad de la Formación Amagá fue establecida palinológicamente como Oligoceno superior- Mioceno inferior (Van der Hammen, 1960, 1957)<sup>7</sup>. En la literatura geológica esta unidad ha sido subdividida en tres (3) miembros: Inferior, Medio y Superior, como se describe a continuación, cabe mencionar que en Al del medio abiótico se encuentra el miembro superior:

<sup>3</sup> Ibid., p. 7.

<sup>4</sup> Ibid., p. 8.

<sup>5</sup> Ibid

<sup>6</sup> Ibid., p.64.

<sup>7</sup> Ibid., p.15.

- Miembro Inferior (Pgai)

Este Miembro se caracteriza por contener conglomerados polimícticos, areniscas y arcillolitas arenosas o areniscas arcillosas, localmente con delgados mantos de carbón.

- Miembro Medio (Pgam)

Esta unidad se diferencia de los otros dos (2) Miembros por tener mantos explotables de carbón un mayor número de bancos inexplotables y pocos estratos conglomeráticos. Está compuesto predominantemente por arcillolitas, y en menor proporción areniscas y mantos de carbón, explotables e inexplotables.

- Miembro Superior (Ngas)

Esta unidad se caracteriza por la ausencia de mantos de carbón explotables, no hay presencia de conglomerados, además de presentar areniscas grises azuladas a verdosas cuando están frescas, y gris amarillentas cuando están meteorizadas. Las areniscas son abigarradas con nódulos de limonita, algunas estructuras internas como estratificación gradada y cruzada son comunes.

- Formación Combia (Ngc)

Son rocas, principalmente volcánicas, que afloran sobre las vertientes oriental y occidental del río Cauca. Se divide esta formación en dos (2) miembros: uno volcánico y otro donde predominan rocas sedimentarias mal consolidadas<sup>8</sup>. Por correlación con otras unidades cuyas edades han sido determinadas por métodos palinológicos y/o paleozoológicos, ha sido considerada como Mioceno superior - Plioceno<sup>9</sup>.

- Aluviones Recientes (Qal)

Son depósitos acumulados sobre valles bien establecidos de ríos permanentes, están conformados por bancos de grava gruesa con intercalaciones guijosas y limos; se encuentran en las partes interiores del río Cauca.

Las unidades geológicas regionales identificadas en el área de influencia del medio abiótico se presentan en la Tabla 5-1 y la distribución espacial de las mismas en la [Figura 5-1](#).

**Tabla 5-1. Unidades litológicas y formaciones superficiales regionales.**

Nombre / Nomenclatura	Descripción
Pórfido Andesítico	Rocas ígneas con textura porfídica, fenocristales que pueden alcanzar hasta el 30% de la roca.
Formación Amagá Miembro Superior / Ngas	Areniscas bien cementadas de color crema, arcillas pizarrosas gris verdosas y de color ocre, localmente bancos delgados de conglomerado y de carbón. Oligoceno tardío-Mioceno temprano.
Formación Combia / Ngc	Formación sedimentaria – volcánica, compuesta por: tobas volcánicas y derrames eruptivos aglomerados, brechas, basaltos, andesitas con capas

<sup>8</sup> Ibid., p.78.

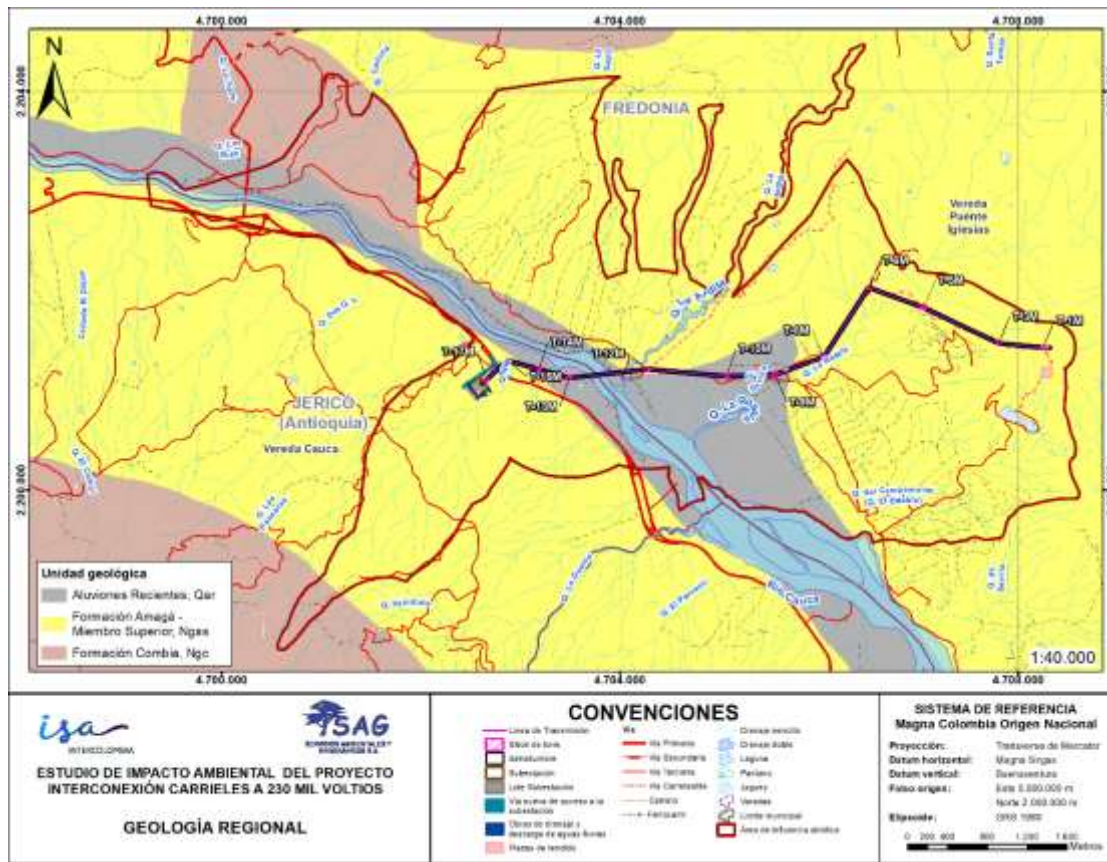
<sup>9</sup> Ibid., p.15.



 <b>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <b>INTERCOLOMBIA</b>	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Nombre / Nomenclatura	Descripción
	sedimentarias en la parte superior, compuesto por conglomerados y areniscas tobáceas Mioceno-Plioceno.
Sedimentos Cuaternarios / Qal	Aluviones recientes

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-1. Geología regional en el área de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.1.2 Estratigrafía/Caracterización litológica local

Para la descripción de las unidades geológicas se usó información secundaria proveniente de la Plancha 166 del Servicio Geológico Colombiano<sup>10</sup>, así como información del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Amagá<sup>11</sup> y el Plan de Adaptación a la Guía

<sup>10</sup> Servicio Geológico Colombiano. Geología de la Plancha 166 Jericó. Bogotá. 2009

<sup>11</sup> CORANTIOQUIA. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Amagá. Medellín, 2009.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

Ambiental - PAGA Unidad Funcional 1.1 y 2<sup>12</sup>. Dicha información, como se mencionó anteriormente, se verificó durante las campañas de campo realizadas por SAG para el Diagnóstico Ambiental de Alternativas – DAA, entre el 28 de febrero y el 14 de marzo de 2021, y la campaña de campo realizada del 17 al 19 mayo de 2022 para el Estudio de Impacto Ambiental - EIA.

A continuación, se describen las unidades litológicas y formaciones superficiales del área de influencia del medio abiótico de manera organizada, desde la más antigua a la más joven, en tanto se tiene conocimiento de su periodo.

#### 5.1.1.2.1 Neógeno

- Formación Amagá Miembro Superior (Ngas)

La Formación Amagá en el área de influencia del medio abiótico está representada por capas sucesivas, planopararelas y continuas de areniscas conglomeráticas, areniscas de grano medio e intercalaciones de lodolitas carbonosas. Las areniscas conglomeráticas son capas de hasta 1,6 m de espesor, color pardo, matriz soportada, mal seleccionada, fragmentos entre 0,5 y 6 mm de diámetro compuesto principalmente por cuarzo y líticos sedimentarios, y la matriz es de arena fina a arcillosa. Las capas de arenisca de grano medio a fino tienen espesores entre 1,5 a 3,2 m, color naranja amarillento, bien seleccionada, compuesta por fragmentos de cuarzo, líticos negros, feldespatos alterados y micas, además de láminas finas de carbón, las lodolitas contienen cintas discontinuas de carbón<sup>13</sup>. Ver Fotografía 5-1.

<sup>12</sup> CONCESIÓN LA PINTADA – AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 2. Plan de Adaptación a la Guía Ambiental - PAGA. Unidad Funcional 1.1 y 2, junio 2015.

<sup>13</sup> Servicio Geológico Colombiano, Memoria explicativa Plancha 166 geología del borde accidental departamento de Antioquia, escala 1:50000. p 261



**Fotografía 5-1. Formación Amagá Miembro Superior al margen derecho del río Cauca (Norte: 2.201.720,319 y Este: 4.707.135,929).**

*Fuente: SAG, 2021*

Esta formación se encuentra suprayacida discordantemente en las partes altas, por la Formación Combia de origen volcano-sedimentario<sup>14</sup>. Tiene una extensión de 1075,33 ha (46,93%) dentro del área de influencia del medio abiótico. Ver Fotografía 5-2.

<sup>14</sup> CONCESIÓN LA PINTADA – AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 2. Op. Cit. p.130.



**Fotografía 5-2. Areniscas conglomeráticas al margen derecho del río Cauca (Norte: 2.201.720,319 y Este: 4.707.135,929).**

*Fuente: SAG, 2021*

- Formación Combia (Ngc)

Son rocas, principalmente volcánicas, que afloran sobre las vertientes oriental y occidental del río Cauca. Se divide esta formación en dos (2) miembros: uno volcánico y otro donde predominan rocas sedimentarias mal consolidadas<sup>15</sup>. Por correlación con otras unidades cuyas edades han sido determinadas por métodos palinológicos y/o paleozoológicos, ha sido considerada como Mioceno superior - Plioceno<sup>16</sup>. Ver Figura 5-2.

---

<sup>15</sup> Ibid., p.78.

<sup>16</sup> Ibid., p.15.



**Figura 5-2. Afloramientos de rocas de la Formación Combia: a) Tobas; b) madera carbonizada en tobas; c) secuencia de basaltos y tobas; d) toba de lapilli litocristalina.**

*Fuente: SGC, 2022*

#### 5.1.1.2.2 Cuaternario

- Depósitos de vertiente (Qdv)

Los depósitos de vertiente se observaron en el área de influencia del medio abiótico asociados a la erosión y depositación de bloques de brechas volcánicas de la Formación Combia. Se observan abundantes bloques dispersos en las laderas, los clastos angulares a subangulares, mal seleccionados, compuestos por brechas volcánicas y basaltos en una matriz limo-arcillosa compuesta por fragmentos líticos y ceniza volcánica parcialmente meteorizada<sup>17</sup>. Ver **Fotografía 5-3**.

<sup>17</sup> Servicio Geológico Colombiano, Op. Cit, p 283



**Fotografía 5-3. Visual a depósito de vertiente en el margen izquierdo del área de influencia del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2022*

De acuerdo con el SGC<sup>18</sup>, antes INGEOMINAS, el espesor de este depósito se encuentra cerca a los 20 m.

En la visita de campo en el área de influencia del medio abiótico, se observaron depósitos de vertiente de poco espesor cercanos al río Cauca, no se logró establecer la relación matriz/clastos por la ausencia de taludes representativos en dicho sitio; sin embargo, se verificó que, los clastos encontrados en el área corresponden a bloques de composición volcánica (aglomerados, andesitas y basaltos), de forma angular a subangular, con tamaños de 2 m de diámetro; la matriz es color café oscura, húmeda, limosa. En el área de influencia del medio abiótico, esta unidad ocupa un área de 620,71 ha (27,09%). Ver **Fotografía 5-4.**

<sup>18</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa Geología y Geoquímica Escala 1:100.000 Plancha 166 Jericó. Bogotá, 1980.



**Fotografía 5-4. Depósitos de vertiente sobre el margen derecho del río Cauca (Este: 4.701.812,360 y Norte: 2.202.708,105).**

*Fuente: SAG, 2022*

- Aluviones Recientes (Qal)

Son depósitos asociados a las llanuras de inundación del río Cauca y de todas las quebradas que hacen presencia en el área de influencia del medio abiótico. Esta unidad presenta bloques de roca de hasta 60 cm, embebidos en una matriz arenosa; frecuentemente presenta espesores de dos (2) m sobre las zonas más planas de las quebradas y a orillas del río Cauca<sup>19</sup>.

En la parte más cercana al río, el depósito aluvial se encuentra en una superficie plana a ondulada con pendientes bajas a suavemente inclinadas. El depósito aluvial, ubicado sobre la margen izquierda del río, tiene un espesor de aproximadamente 6 m, mal seleccionado, sin estratificación, con bloques de mayor diámetro hacia la base. Además de encontrar dichos depósitos sobre el río Cauca, también se observaron depósitos aluviales y aluviotorrenciales sobre las quebradas La Ardita y La Rosala, estos depósitos son clastosoportados (80% clastos – 20% matriz), redondeados, con diámetros que oscilan entre 1 a 1,5 m, los bloques de roca tienen una composición variada; la matriz es de composición arcillo-arenosa, color café oscuro, húmeda. Ver Fotografía 5-5.

---

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p.92.



**Fotografía 5-5. A) Depósito aluvial sobre la quebrada La Rosala. B) Depósito aluvial la quebrada La Ardita.**

*Fuente: SAG, 2021*

En la margen derecha del río Cauca, sobre el depósito se observan dos (2) niveles: hacia la base, el depósito es clasto soportado, con bloques redondeados bien seleccionados; hacia el techo, el nivel es arenoso, bien seleccionado, de 4 m de espesor. En el área de influencia del medio abiótico esta unidad tiene una extensión de 545,77 ha (23,82%).

En la Fotografía 5-7 se puede observar un depósito aluvial, el cual se ha dividido en cuatro (4) partes: en la parte superior se puede observar que el porcentaje de matriz es más alto que de clastos, siendo aproximadamente de 80/20; la matriz es una arena fina con bloques de diámetros 4 a 5 cm de espesor, bien seleccionados y redondeados, la altura de la parte superior es de 1,60 m en su parte más alta y de 50 cm en la más baja.

La segunda parte en el afloramiento de aproximadamente 40 cm de ancho hasta 1 m, donde sigue siendo mayor el porcentaje de la matriz arenosa color café con una distribución de 60/40, los bloques están bien seleccionados y redondeados, la diferencia al bloque 1, es el tamaño de los clastos, pues en esa parte se observan clastos de hasta 15 cm de diámetro.

En la tercera parte de la columna se puede observar el máximo espesor que esta presenta con una altura de más de 1,60 m, allí a diferencia de las dos (2) partes superiores ya hay una predominancia de clastos y no de matriz, siendo su distribución de 40/60, donde los clastos son redondeados, bien seleccionados de diámetros hasta de 60 cm.

La última parte de la columna, como se puede observar en **Fotografía 5-6**, está compuesta mayormente por clastos de la columna que se han desprendido, o que han sido abandonados por la corriente de la quebrada durante eventos altos de torrencialidad. Estos clastos se pueden clasificar como redondeados a sub redondeados y con diámetros que pueden alcanzar hasta un (1) metro.





**Fotografía 5-6. Columna identificada en campo para un depósito aluvial  
(Este: 4.704.091,851 y Norte: 2.201.127,803).**

*Fuente: SAG, 2022*

En lo que respecta a la evolución geológica del área de influencia del medio abiótico está enmarcada por fenómenos geológicos a gran escala, los cuales hacen parte de la evolución de las cordilleras Central y Occidental ocurridos a finales del Cenozoico (Neógeno) y que dieron origen a las formaciones Combia y Amagá, y posteriormente a la actividad geológica cuaternaria representada por depósitos aluviales y de vertiente, como se indica a continuación:

- Desarrollo incipiente de la cuenca interandina del Cauca y levantamiento rápido de las cordilleras Central y Occidental durante el Oligoceno-Mioceno<sup>20</sup>.
- Depositación de gruesas secuencias de sedimentos continentales en fosas limitadas por fallas (graben) durante el Neógeno (Oligoceno, Mioceno Superior) en la margen occidental de la Cordillera Central, lo que dio origen a la Formación Amagá<sup>21</sup>.
- Posteriormente, los materiales generados por la intensa actividad volcánica que caracterizó el Mioceno Medio y el Plioceno Temprano, dieron origen a la Formación

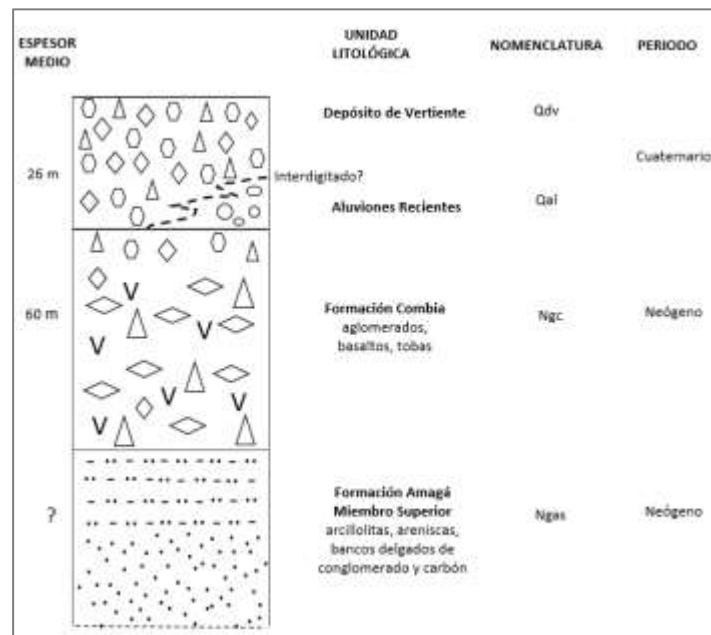
<sup>20</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 1983, op. cit., p.17.

<sup>21</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica (Magnetométrica) de las Planchas 166, 167, 186 y 187, Bogotá, noviembre de 2005. P.123.

Combia. Esta secuencia de naturaleza fluviovolcanica se depositó discordantemente sobre el Miembro Superior de la Formación Amagá<sup>22</sup>.

- Desde el Plioceno, depositación de materiales de diversa naturaleza, principalmente en los cursos de las primordiales corrientes, adyacente a estas y la base de laderas con fuertes pendientes; los movimientos tectónicos desarrollados desde el Mioceno Medio acompañados de los procesos erosivos, han originado la configuración fisiográfica actual de la zona<sup>23</sup>.

En la Figura 5-3 se presenta la columna estratigráfica generalizada para el área de influencia del medio abiótico con sus respectivos espesores. Se presentan también las cuatro (4) unidades geológicas que afloran.



**Figura 5-3. Columna estratigráfica generalizada para el área de influencia del medio abiótico.**

*Nota: Oligoceno: entre 33,9 ma y 23,03 ma; Mioceno: entre 23,03 ma y 5,33 ma; Plioceno: entre 5,33 ma y 2,58 ma.*

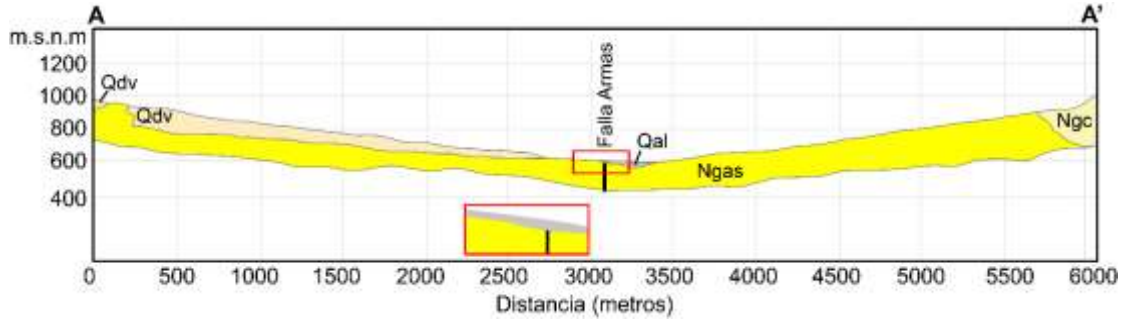
*Fuente: SAG, 2021*

En resumen, en el área de influencia del medio abiótico se identificaron cuatro (4) unidades geológicas: Formación Amagá Miembro Superior (Ngas) (46,93% del AI), Formación Combia (Ngc) (2,16% del AI), Depósitos de Vertiente (Qdv) (23,82% del AI) y Aluviones Recientes (Qal) (27,09% del AI); ver Tabla 5-2. En la [Figura 5-4](#) se puede observar la

<sup>22</sup> Ibid., p.122.

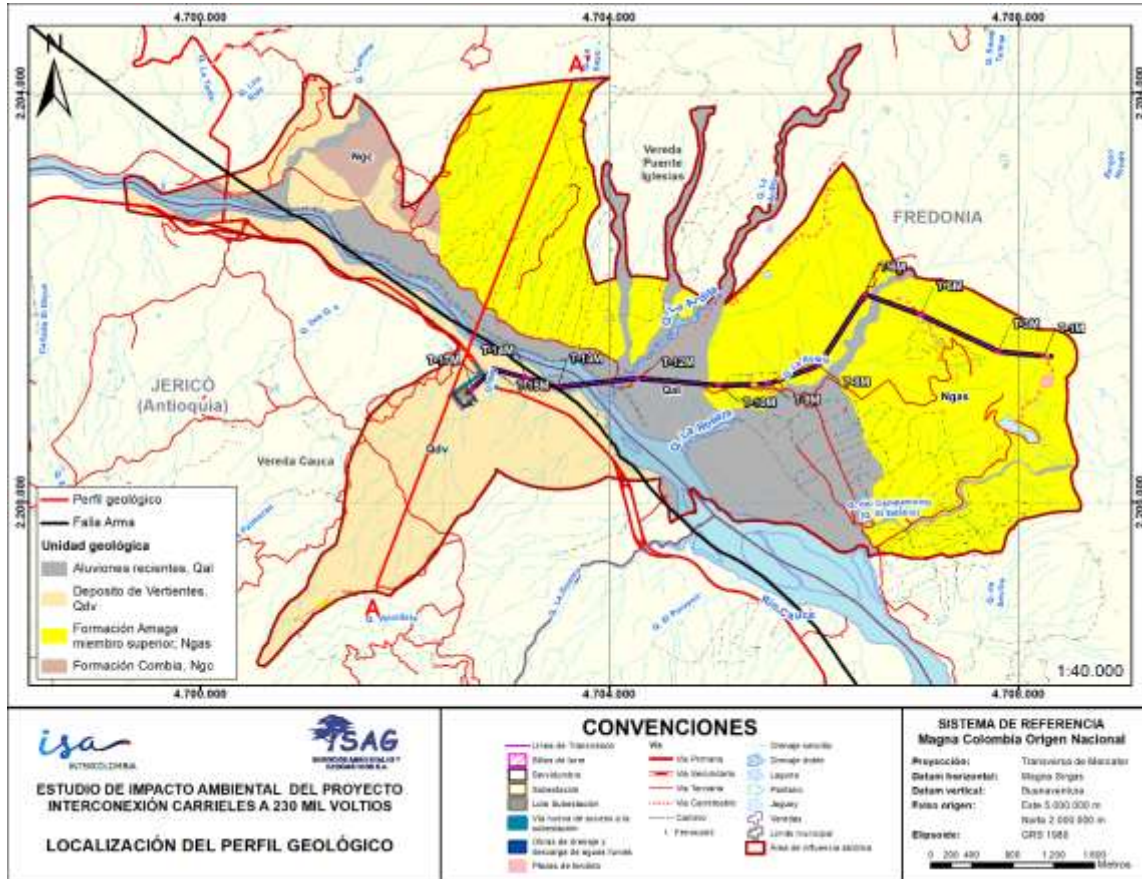
<sup>23</sup> Ibid., p.270.





**Figura 5-5. Geología local y perfil geológico para el área de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-6. Localización de perfil geológico.**

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

## 5.1.2 Geología estructural / Tectónica

El área de influencia del medio abiótico se encuentra ubicada sobre el valle del río Cauca, controlado por el Sistema de Fallas Cauca – Romeral, el cual se extiende desde Ecuador hasta la Costa Caribe de Colombia, divide los Andes Colombianos en Occidente y Oriente. La geología hacia el dominio occidental corresponde a un cinturón oolítico de afinidad oceánica, conformado por gabros, basaltos y rocas sedimentarias de edad Cretácica; el dominio oriental, presenta rocas de corteza continental como esquistos y rocas sedimentarias y volcánicas oceánicas metamorfoseadas, de edades que varían entre Paleozoico y Mesozoico<sup>24</sup>.

### 5.1.2.1 Geología estructural regional

La interpretación de la geología estructural permite analizar con una nueva perspectiva geológica el área de influencia del medio abiótico, en el caso del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, a nivel regional se cuenta con la presencia de la falla Arma.

#### 5.1.2.1.1 Falla Arma

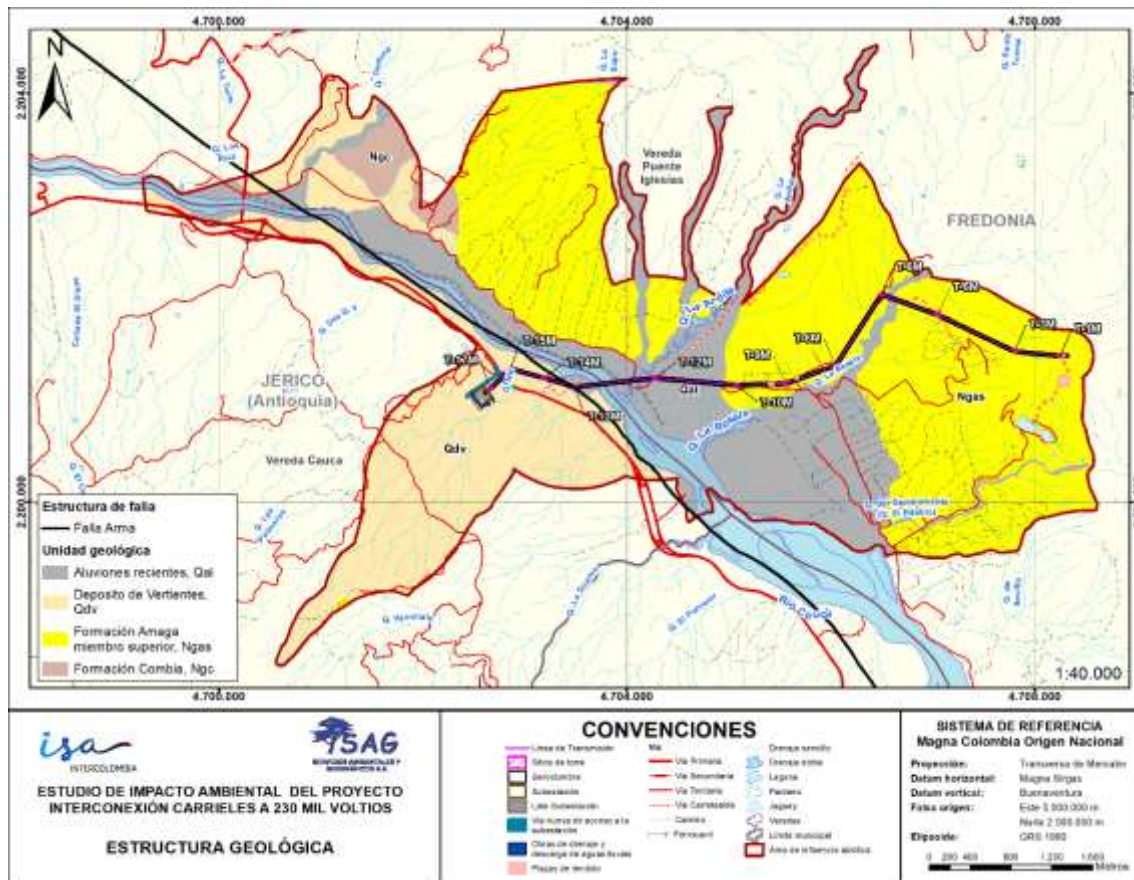
Según el Atlas de Amenaza Sísmica de Colombia (Ingeominas, 1998)<sup>25</sup>, esta estructura corresponde a la Falla Pintada Norte. Es comprendida por un sistema estructural de rumbo con una extensa zona de cizalla, cuya tendencia estructural es N40°W. Se desarrolló a partir del acercamiento y la acreción del Bloque Chocó (BC) en el Mioceno tardío-Plioceno, cuando se depositó la Formación Combia (Ngc) de origen volcánico. Su grado de actividad se desconoce, pero es probablemente bajo. La Falla de Arma de componente transpresional, es la responsable del control estructural del río Cauca a lo largo del tramo comprendido desde la desembocadura de los ríos Poblano y Cartama en el sureste, hasta el río San Juan en el noreste. Este sistema se encuentra desplazando las trazas de las fallas originadas durante el Cretácico, afectando las rocas de la Formación Amagá<sup>26</sup>.

La longitud de cruce de la falla con el área de influencia del medio abiótico es de 622,31 m y pasa entre las torres 13M y 14M. Ver [Figura 5-7](#).

<sup>24</sup> CONCESIÓN LA PINTADA – AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 2. Estudio de Impacto Ambiental Unidad Funcional 3 del Proyecto Autopista Conexión Pacífico 2, enero 2016.

<sup>25</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Atlas de Amenaza Sísmica de Colombia. Mapa de Fallas Activas de Colombia. Escala 1:1.000.000. Plancha 8. Bogotá, 1998.

<sup>26</sup> Lopez, A., Sierra, G., & Ramírez, D. (2006). Vulcanismo Neógeno en el Suroccidente Antioqueño y sus Implicaciones Tectónicas. Medellín: Boletín de Ciencias de la Tierra.



**Figura 5-7. Estructura geológica regional.**

*Fuente: SAG, 2024*

### 5.1.2.2 Geología estructural local

Con base en el trabajo de campo realizado, se verificó que en el área de influencia del medio abiótico no se encuentran afloramientos de roca que presenten diaclasas o fallas y que permitan la medición de dichas estructuras. Por el contrario, se encontró que las rocas aflorantes, en su mayoría, presentan alto grado de meteorización o conformando suelos residuales.

### 5.1.3 Sismicidad

La descripción de la sismicidad en el área de influencia del proyecto se basó en la recopilación de información secundaria proveniente del catálogo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) y del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia. También se realizó una revisión del marco geológico y tectónico utilizando información secundaria enfocada en la actividad de fallas (definidas como activas) y la sismicidad regional.

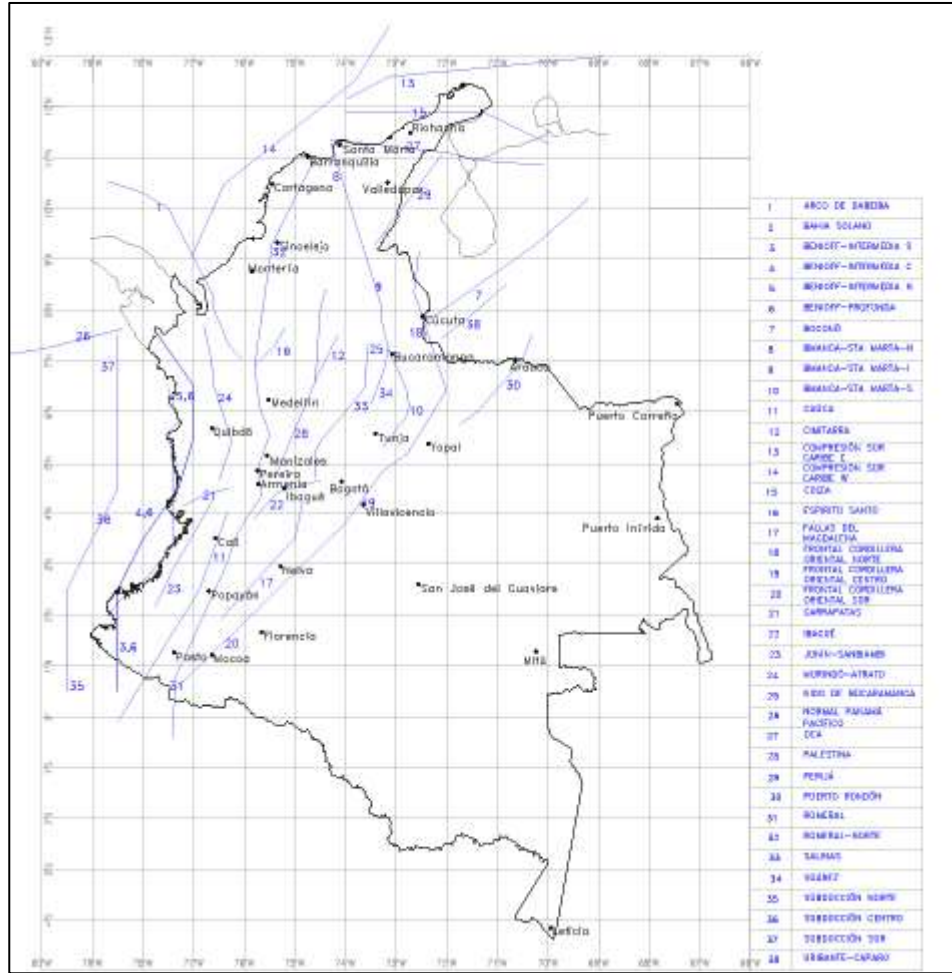
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

Según un informe de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), el marco tectónico del país se encuentra dentro del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, una compleja franja de fosas tectónicas donde las principales placas de la corteza terrestre interactúan a través de procesos de expansión y colisión, generando terremotos y erupciones volcánicas. El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia de la AIS indica que el territorio colombiano se caracteriza por ser una zona de actividad sísmica constante, atribuida al proceso de convergencia de las placas Caribe, Nazca y Sudamérica. Esta convergencia genera esfuerzos de compresión en las zonas de contacto entre placas, que eventualmente alcanzan un límite de deformación y dan lugar a zonas de ruptura o deslizamiento, provocando grandes liberaciones de energía o sismos. La placa Caribe se mueve en dirección sureste, con una tasa de desplazamiento estimada en 20 mm/año. La placa Nazca subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de la costa del Pacífico colombiano, con una tasa de desplazamiento estimada entre 54 y 69 mm/año en dirección este. Por su parte, la placa Sudamericana se desplaza en dirección sureste, con una tasa estimada de 20 mm/año.

En la Figura 5-8 se muestra la proyección de las fallas superficiales del país, que también corresponden a los principales sistemas de fallas regionales. Además, se observa que el área de influencia del proyecto se encuentra bajo la influencia del Sistema de Fallas Romeral (32).<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Estudio General de amenaza sísmica de Colombia. 2009.



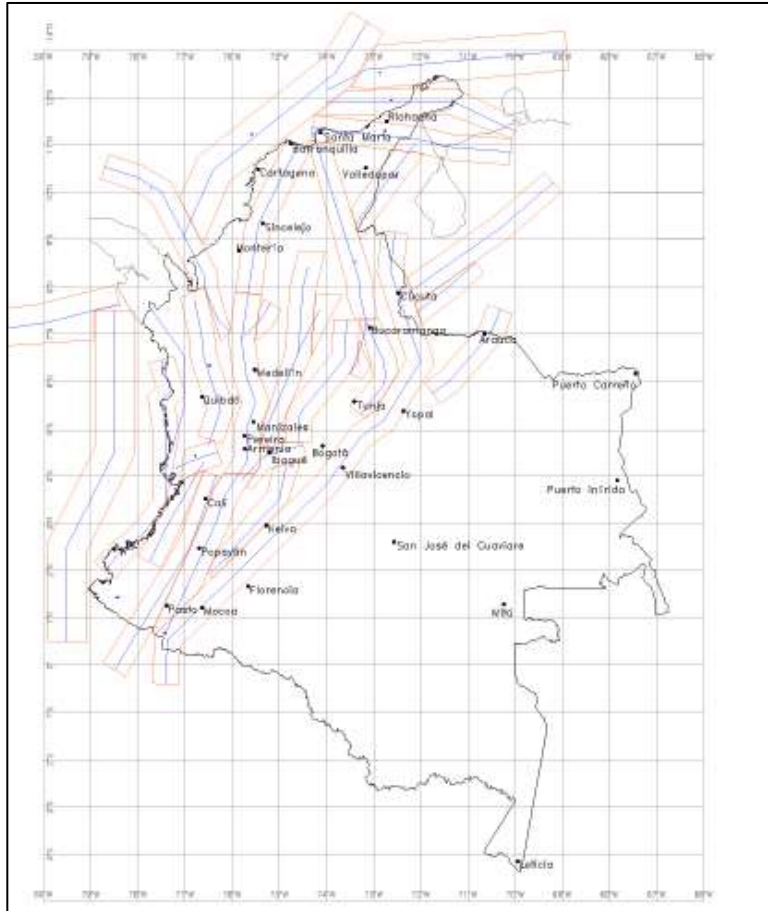
**Figura 5-8. Proyección de las fallas en superficie.**

*Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2009*

En el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia se clasificaron todos los eventos sísmicos registrados en la fuente sismogénica mencionada, que incluye el Sistema de Falla Romeral. Durante este proceso de asignación, se realizó una distinción entre la actividad sísmica cortical, la actividad sísmica de subducción y la actividad sísmica profunda.

Inicialmente, se tomaron todas las fuentes sísmicas y se definieron corredores de aproximadamente 60 km de ancho. Los corredores se muestran en la Figura 5-9 (asignación de eventos corticales).





**Figura 5-9. Corredores para la asignación de eventos a fuentes corticales.**

*Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2009*

A partir de los registros consultados en el catálogo sísmico disponible en la página del Servicio Geológico Colombiano, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de eventos sísmicos en un buffer de 25 km alrededor del área de influencia del Proyecto. Esta medida se realizó siguiendo las pautas establecidas por la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10), con el objetivo de obtener información precisa y relevante sobre los sismos más cercanos a la zona y evaluar su potencial para ocasionar daños en la infraestructura del Proyecto.

El análisis arrojó un total de 639 eventos sísmicos dentro del área de interés que abarca el buffer de 25 km. Este buffer cubrió un conjunto de dos (2) departamentos entre ellos Antioquia y Caldas. En el ANEXO\_5\_1\_1\_SISMICIDAD se presenta la información sobre eventos sísmicos, permitiendo evidenciar que, los eventos sísmicos registrados para el buffer de 25 km alrededor del área de influencia presentan una magnitud y profundidad relativamente baja, siendo la mayor magnitud presentada de 5,3 y la mayor profundidad de

156,75 km; el valor promedio para los registros obtenidos PTE en cuanto a magnitud es de 1,35 y para la profundidad de 30,32 km.

**Tabla 5-3. Parámetros estadísticos de los eventos sísmicos.**

Valor	Profundidad	Magnitud
<b>Máximo</b>	156,75	5,3
<b>Mínimo</b>	0	0,3
<b>Promedio</b>	<b>30,32</b>	<b>1,35</b>

*Fuente. SAG, 2023*

En las Tabla 5-4 y Tabla 5-5 se presentan los intervalos de frecuencia correspondientes a la profundidad y magnitud de los eventos sísmicos, lo que proporciona información relevante sobre las características de estos fenómenos. Es importante destacar que el 90,61% de los eventos sísmicos registrados en la Tabla 5-4 muestran una profundidad menor a 60 km, lo cual se considera como características corticales. Por otro lado, el 9,39% restante de los eventos sísmicos presentan profundidades mayores a 60 km, lo que indica características profundas.

Estos datos revelan una predominancia de sismos superficiales, es decir, aquellos que ocurren en la corteza terrestre a profundidades relativamente pequeñas. La presencia de este alto porcentaje de eventos sísmicos corticales sugiere una actividad sísmica localizada en las capas superiores de la litosfera.

Por otro lado, la presencia de eventos sísmicos profundos, aunque en menor proporción, indica la existencia de procesos tectónicos y dinámicos en regiones más profundas de la tierra. Estos sismos profundos suelen estar asociados con la subducción de placas tectónicas y otros fenómenos geodinámicos.

El análisis de los intervalos de profundidad y magnitud de los eventos sísmicos brinda una visión más completa de la distribución y características de la actividad sísmica en el área de influencia. Esta información es valiosa para comprender la dinámica tectónica de la región y contribuye a la evaluación de riesgos y medidas de mitigación en términos de construcción sísmo resistente y seguridad estructural.

**Tabla 5-4. Intervalos de frecuencia para la profundidad.**

Intervalo Profundidad (km)		Cantidad de sismos	%
0	30	349	54,62%
30	60	230	35,99%
60	90	41	6,42%
90	120	14	2,19%
120	160	5	0,78%
<b>Total</b>		<b>639</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente. SAG, 2023*

Según los datos históricos recopilados hasta la fecha para el buffer de 25 km alrededor del área de influencia (Tabla 5-5), se observa que el 59,15% de los eventos sísmicos registrados se encuentran en un rango de magnitud entre 0 y 1,3. Además, el 34,27% de los eventos sísmicos registrados se sitúa en un rango de magnitud de 1,3 y 2,3. Estos dos (2) intervalos de magnitud son los más relevantes y muestran que, para esta área en particular, los sismos que se han producido no han sido significativos en cuanto a su magnitud.

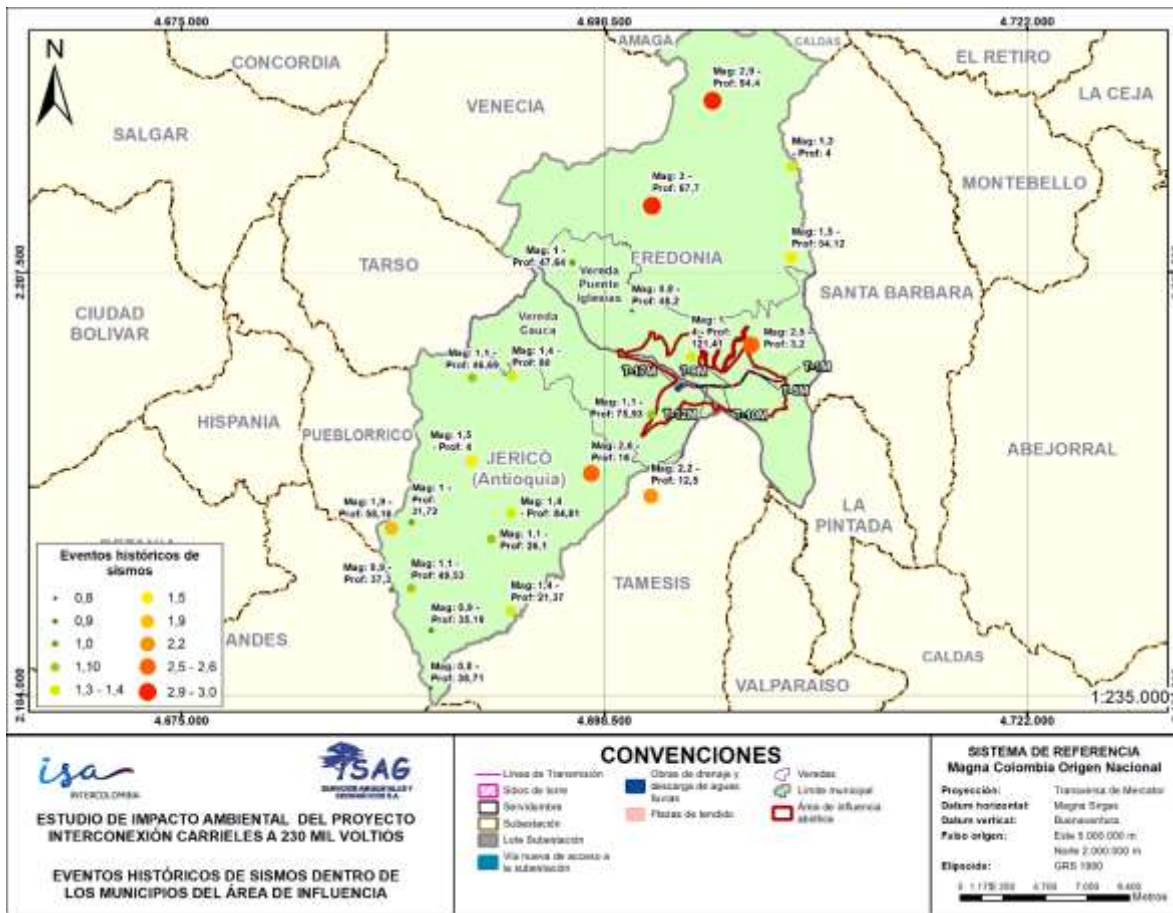
Estos datos también indican que la actividad sísmica en el área de influencia ha sido principalmente de baja a moderada magnitud. Los sismos registrados hasta la fecha han estado dentro de un rango que no ha presentado impactos relevantes en términos de magnitud. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la evaluación de riesgos sísmicos también considera otros factores, como la cercanía de los eventos sísmicos a infraestructuras críticas o la vulnerabilidad de las estructuras existentes.

En resumen, los datos históricos muestran que la mayoría de los sismos registrados en el área de influencia han sido de baja a moderada magnitud, lo que indica que la actividad sísmica en esta zona no ha generado eventos de gran impacto en términos de magnitud. Estos hallazgos son relevantes para la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación en relación con la construcción y seguridad estructural en el área considerada. Ver [Figura 5-10](#).

**Tabla 5-5. Intervalos de frecuencia para la magnitud.**

Intervalo Magnitud		Cantidad de sismos	%
0	1,3	378	59,15%
1,3	2,3	219	34,27%
2,3	3,3	40	6,26%
3,3	5,3	2	0,31%
<b>Total</b>		<b>639</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-10. Eventos sísmicos en un radio de 25 km alrededor del área de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024 a partir de los datos de SGC

### 5.1.3.1 Amenaza sísmica

La amenaza sísmica está definida según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica como un “fenómeno físico asociado a un sismo, tal como el movimiento fuerte del terreno o falla de este, que tiene el potencial de producir una pérdida”. De otro lado, “el peligro que induce la actividad sísmica de una zona sobre regiones aledañas a poblaciones o asentamientos humanos ha derivado en la necesidad de establecer por una parte parámetros claros que definan el nivel de amenaza de la zona, así como metodologías generales que permitan estimar dichos parámetros”<sup>28</sup>.

<sup>28</sup>. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2009. Óp. Cit. p. 3

Para la evaluación de la amenaza sísmica de una zona se requiere conocer previamente la sismicidad de esta, la cual está definida por parámetros como localización y tamaño de un sismo, los cuales son magnitud, momento, intensidad, aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo. La magnitud y el momento sísmico están relacionados con la energía liberada en el foco del terremoto, mientras que la intensidad y la aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo lo están con la energía recibida en un punto cualquiera de la superficie.

Así, la medición de la intensidad máxima del movimiento del terreno por el evento sísmico que puede ocurrir en un tiempo de exposición o ventana de tiempo es un parámetro que permite garantizar la seguridad de una estructura en una zona propensa a eventos sísmicos importantes. El tiempo de exposición está directamente relacionado con la vida útil que se espera tengan las estructuras. Definido un nivel de riesgo aceptable, es posible estimar un periodo de retorno, que es una manera común de expresar ambas características a través de un solo parámetro.

Partiendo de estos parámetros, la AIS en el “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009” creó los nuevos mapas de amenaza sísmica del país para la actualización de la Norma Colombiana Sismo Resistente NSR-10. Para lo cual se establecen tres (3) rangos:

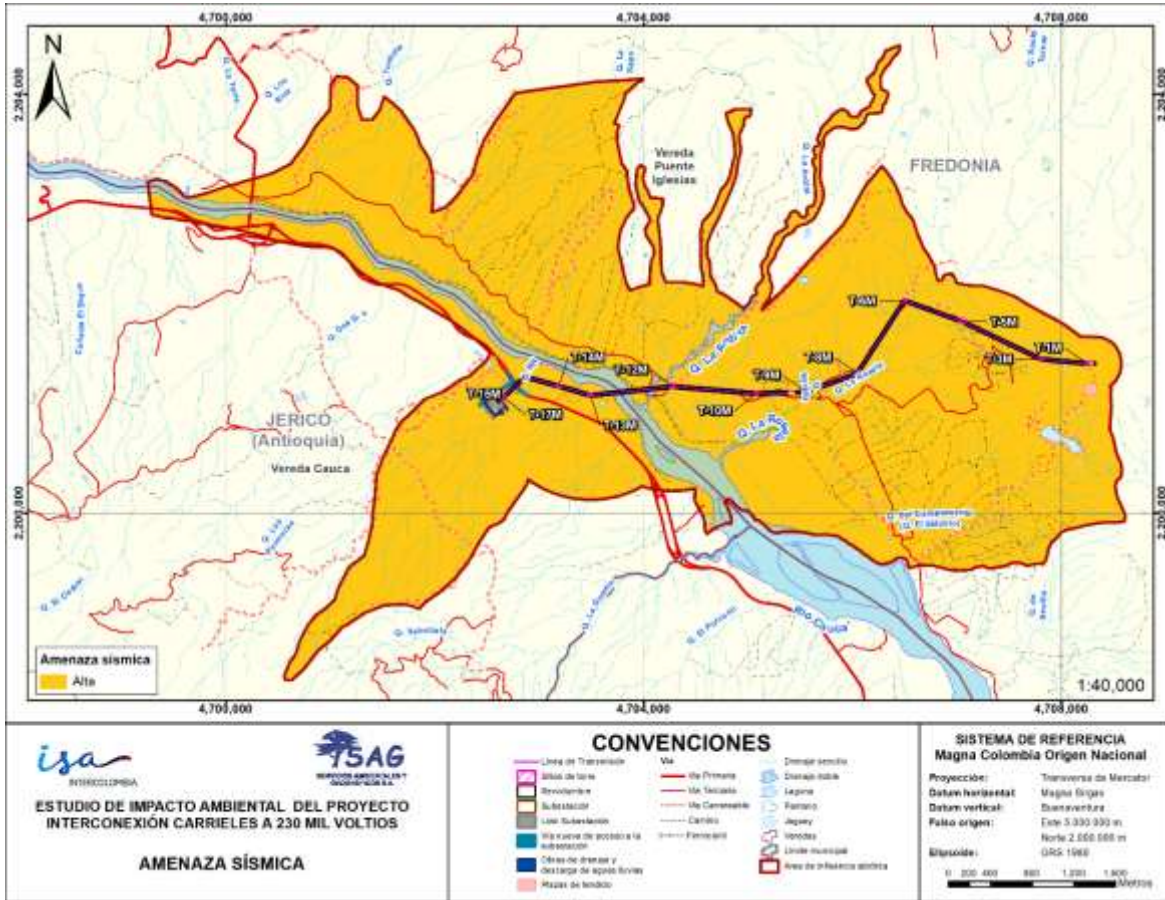
- Zona de Amenaza Sísmica Baja. Definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (AA.) de 0,10g.
- Zona de Amenaza Sísmica Intermedia. Definida para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayor a 0,10 g y menor o igual a 0,20 g.
- Zona de Amenaza Sísmica Alta. Definida para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes, con valores de aceleración pico efectiva mayor a 0,20 g.

Con base en lo anterior y al mapa de Amenaza Sísmica del Servicio Geológico Colombiano para un periodo de retorno de 975 años, se identificó que el 100% del AI abiótica se encuentra en amenaza alta (ver Tabla 5-6 y [Figura 5-11](#)).

**Tabla 5-6. Amenaza sísmica.**

Amenaza sísmica	Área (ha)	Área (%)
Alta	2291,33	100,00%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-11. Amenaza Sísmica.**

*Fuente: SAG, 2024*

### 5.1.4 Geomorfología

En este numeral se presenta la caracterización geomorfológica del área de influencia del medio abiótico, la cual incluye la descripción general del relieve a partir de la elaboración y análisis del mapa de pendientes y la revisión de las unidades geomorfológicas cartografiadas.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Para la identificación y descripción de las unidades geomorfológicas que se presentan, se consultó la Plancha Geomorfológica 166<sup>29</sup> a escala 1:100.000 y la correspondiente memoria explicativa<sup>30</sup>, realizados por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2014.

Adicionalmente, para complementar la información, se retomó la cartografía geomorfológica y el anexo correspondiente a la plancha 166-Jericó<sup>31</sup> elaborado por CORANTIOQUIA escala 1:100.000, en el año 2002 para esa jurisdicción.

Igualmente, se consultó información de estudios previos realizados en el área de influencia del medio abiótico, específicamente, el estudio del POMCA del río Amagá<sup>32</sup>.

Además de la revisión de información secundaria, se realizó la interpretación de la imagen satelital ImaSatDet11012022, obtenida del satélite Pléiades-1 (P1), de fecha 01 de noviembre de 2022, con resolución de 50 cm y con el fin de contar con el detalle de relieve, se complementó con la verificación de imágenes satelitales de la plataforma Google Earth.

#### 5.1.4.1 Pendientes

En este numeral se presenta la caracterización por pendiente topográfica del área de influencia del medio abiótico, como se observa en la [Tabla 5-7](#).

De acuerdo con los valores de la tabla mencionada y el mapa de pendientes de la [Figura 5-12.](#), la mayor parte del área de influencia del medio abiótico, correspondiente al 35,99%, cuenta con relieve moderadamente inclinado (pendientes del 7-12%); el 28,27% del área es ligeramente inclinada (pendientes del 3-7%) y el 25,90% es fuertemente inclinada (pendientes del 12-25%). Además, el 6,63% del área es ligeramente plana (pendientes del 1-3%) y el 2,19% está a nivel (pendientes del 0-1%). En resumen, el 90,16% del área presenta pendientes que varían entre ligeramente inclinada y fuertemente inclinada.

**Tabla 5-7. Rangos y categorías de las pendientes el área de influencia del medio abiótico.**

Rango (%)	Descripción de la pendiente	Área ha	Porcentaje Área %
0-1%	A nivel	50,12	2,19%
1-3%	Ligeramente plana	151,97	6,63%
3-7%	Ligeramente inclinada	647,72	28,27%

<sup>29</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Plancha 166- Jericó. Sogamoso (Boyacá), 2014.

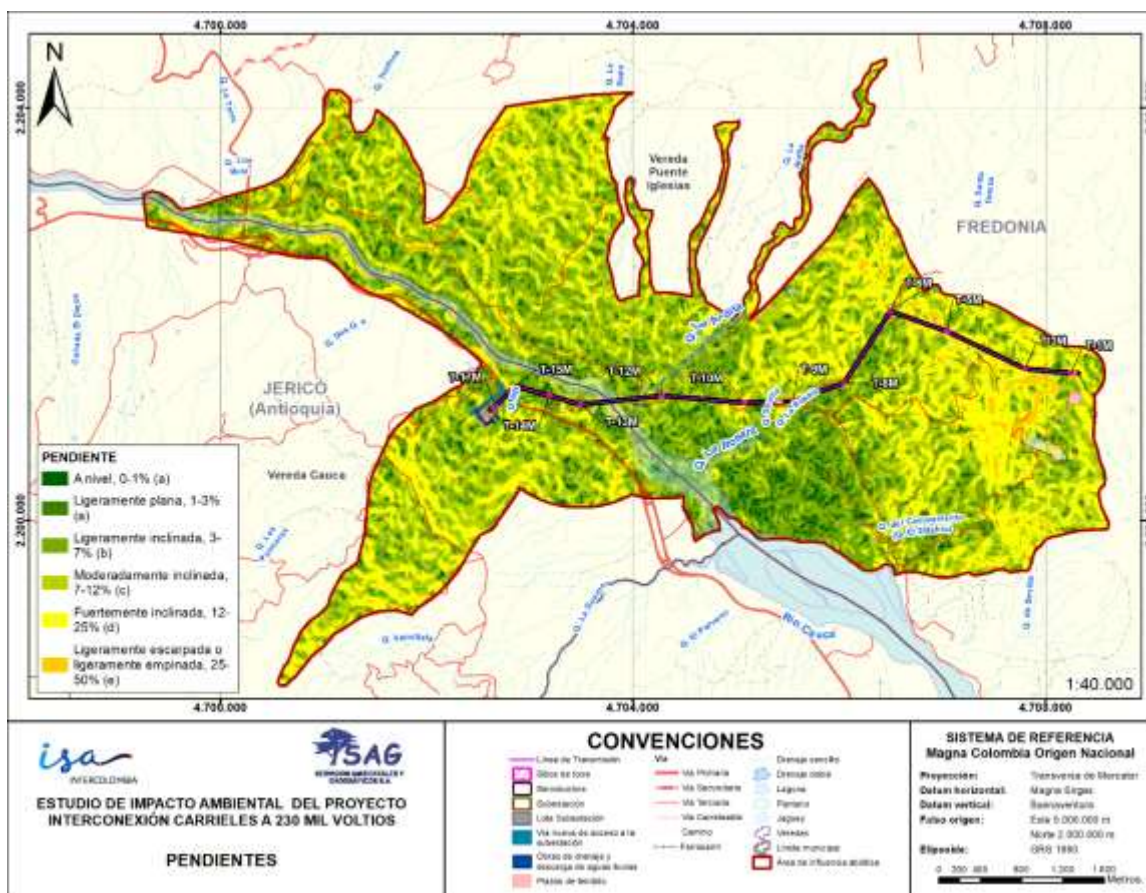
<sup>30</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa del Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 166-Jericó. Sogamoso (Boyacá), 2014.

<sup>31</sup> CORANTIOQUIA Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Mapa Geomorfológico, de Amenazas y Áreas Degradadas de la Jurisdicción de Corantioquia a Escala 1:100.000. Memoria Geomorfológica de la Plancha 166-Jericó. En Anexo 1. Medellín (Antioquia), agosto de 2002.

<sup>32</sup> CORANTIOQUIA. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuencia del Río Amagá - Municipios de Caldas, Amagá, Angelópolis, Heliconia y Armenia Mantequilla. Medellín, 2009.

Rango (%)	Descripción de la pendiente	Área ha	Porcentaje Área %
7-12%	Moderadamente inclinada	824,58	35,99%
12-25%	Fuertemente inclinada	593,37	25,90%
25-50%	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	23,57	1,03%
<b>Total, general</b>		<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-12. Pendientes en el área de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.2 Jerarquización geomorfológica

La Figura 5-13 proporciona una representación visual de los diferentes rangos de clasificación, mientras que la Tabla 5-8 ofrece información adicional sobre cada uno de ellos. Estos rangos se han determinado teniendo en cuenta la calidad y disponibilidad de los datos obtenidos mediante la interpretación de sensores remotos e información adicional de fuentes confiables.



La clasificación de los rangos permitió identificar y diferenciar las diferentes características geomorfológicas presentes en el área de estudio. Estos rangos proporcionan una descripción detallada de las formas del terreno, los procesos geológicos y otros aspectos relevantes para comprender la geomorfología del área.



**Figura 5-13. Esquema de jerarquización geomorfológica.**

*Fuente: Carvajal, 2011*

#### 5.1.4.2.1 Geomorfoestructura

La categoría de geomorfoestructura se refiere a amplias áreas geográficas o espacios continentales que se caracterizan y definen por estructuras geológicas y topográficas regionales que han experimentado deformación, basculamiento, metamorfismo o intrusión ígnea a gran escala. Dentro de estas mega-geoformas de origen tectónico se incluyen los escudos, los bloques continentales (plateaus orogénicos o epirogénicos), grandes cuencas de sedimentación, cuencas intracratónicas, Rift Valleys, plataformas y cinturones orogénicos.

En el caso del área de influencia abiótica en cuestión, se encuentra ubicada dentro de la geomorfoestructura correspondiente al Sistema Orogénico Andino. Esta clasificación es parte de la jerarquización geomorfológica utilizada para definir y delimitar las características y procesos geomorfológicos presentes en el área en estudio.

#### 5.1.4.2.2 Provincia geomorfológica

Las provincias geomorfológicas son conjuntos de regiones que comparten características similares en términos de geoformas y tienen una génesis geológica común. Estas

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

provincias están delimitadas considerando aspectos geológicos, morfológicos y geográficos.

En el caso específico del área de estudio, se encuentra ubicada en las provincias geomorfológicas Cordillera Central y Cordillera Occidental. Estas provincias representan áreas con características geomorfológicas particulares, tanto en su relieve macro como en su origen geológico. La delimitación de estas provincias se ha realizado teniendo en cuenta aspectos como la geología, la morfología y la ubicación geográfica en el contexto regional.

#### 5.1.4.2.3 Región geomorfológica

Una región geomorfológica se define como la agrupación de geoformas relacionadas tanto genética como geográficamente. Estas regiones se caracterizan por presentar ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomorfológicos similares.

El ambiente morfogenético se refiere a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Su determinación se basa en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados, tanto de origen endógeno como exógeno, que han influido en la formación, evolución y modificación de dichas geoformas.

En el área de estudio, se han identificado los ambientes morfogenéticos: ambiente fluvial y ambiente estructural. Estos ambientes han desempeñado un papel crucial en la configuración del paisaje y en la formación de las geoformas presentes en la región geomorfológica.

#### 5.1.4.2.4 Unidades geomorfológicas

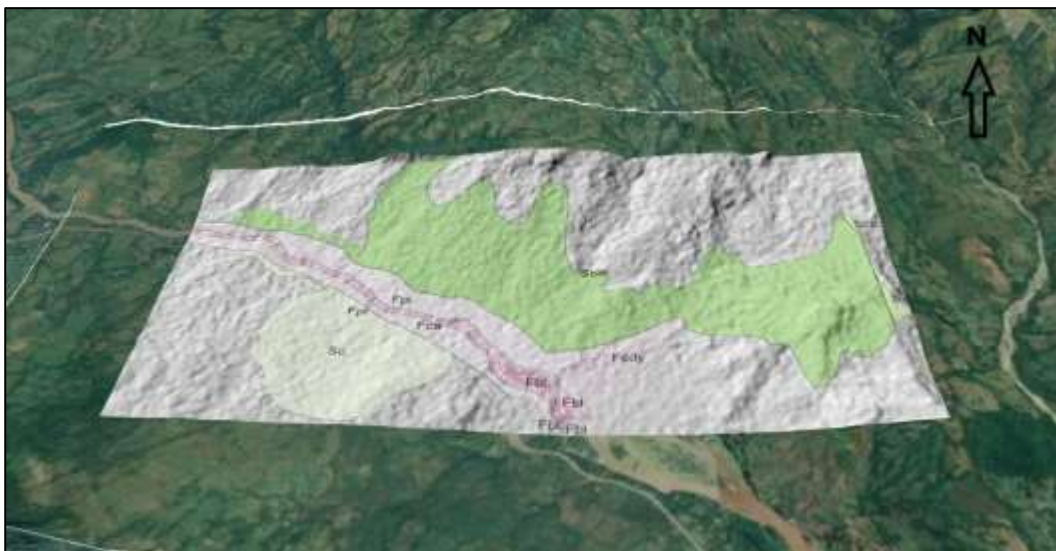
Una unidad geomorfológica se refiere a una geoforma individual que comparte una génesis genéticamente homogénea, producto de un proceso geomorfológico específico de construcción o destrucción, como la acumulación o la erosión. Estas unidades son representativas de un ambiente morfogenético particular.

En el área de estudio, se ha identificado las unidades geomorfológicas, denominadas Cuesta, Ladera estructural de cuesta, Ladera de contrapendiente de cuesta, Cono de deyección, Llanura de inundación, Cause aluvial, Barrera longitudinal, Cuerpos de agua natural y Cuerpos de agua artificial. Estas unidades reflejan los procesos geomorfológicos dominantes en el área y proporciona información sobre la evolución del paisaje y las características del terreno en ese contexto específico.

### 5.1.4.3 Unidades geomorfológicas

El área de influencia del medio abiótico, desde el punto de vista geomorfológico, hace parte de la macro unidad Cañón del Río Cauca - San Juan<sup>33</sup>. Se encuentra ocupando tanto la margen izquierda como derecha del río Cauca, sobre el fondo del valle y el piedemonte. En el área de influencia del medio abiótico se identificaron unidades geomorfológicas de ambiente estructural y fluvial.

En la Figura 5-14 se presenta una panorámica con el código de las unidades geomorfológicas identificadas en la misma, las cuales se describen en los numerales siguientes. En la Fotografía 5-7 se presentan algunas panorámicas de las unidades predominantes, tomadas directamente en el campo por el equipo de profesionales de SAG S.A.



**Figura 5-14. Panorámica área de influencia con las unidades geomorfológicas superpuestas.**

*Fuente: DEM generado a partir de la imagen satelital ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución*

<sup>33</sup> CORANTIOQUIA Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Óp., cit., p.2.



**Fotografía 5-7. Panorámica área de influencia con las unidades geomorfológicas superpuestas.**

*Fuente: DEM generado a partir de la imagen satelital ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución*

#### 5.1.4.3.1 Unidades Estructurales

Las unidades estructurales corresponden a las geoformas generadas por la dinámica interna de la Tierra, especialmente las asociadas a esfuerzos tectónicos, como los plegamientos y fallamiento de los macizos rocosos.

- Cuesta (Sc)

En el área de influencia del medio abiótico está ubicada en el costado suroccidental, sobre la margen izquierda del río Cauca entre los 600 y 1.000 msnm aproximadamente. De forma general, una cuesta es un tipo de relieve que se encuentra en declive; surge como consecuencia de la erosión en las partes de los terrenos sedimentarios cuyas capas presentan una ligera inclinación. Para que se forme este tipo de geoforma es necesario que exista una cuenca sedimentaria de capas que se alternen entre duras y blandas.

El SGC<sup>34</sup> la define como una “sierra asimétrica elongada, de morfología montañosa a colinada definida por el basculamiento suave entre 10° a 25° de las capas o estratos de rocas resistentes y blandas. Como consecuencia de la incisión o fallamiento perpendicular al buzamiento, desarrollan un drenaje dendrítico subparalelo localmente denso”.

La morfogénesis de esta unidad está relacionada con el basculamiento y erosión de los estratos de las rocas sedimentarias de la Formación Amagá, y con los depósitos de

<sup>34</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, op.cit., p. 80.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

vertiente que reposan sobre la misma, y que fueron generados por la depositación de materiales de materiales asociados a los procesos anteriores.

De las rocas sedimentarias de la Formación Amagá, en el área de influencia del medio abiótico afloran las rocas y suelos residuales del Miembro Superior, el cual se encuentra constituido por estratos inclinados entre 10° y 25° de areniscas, arcillas pizarrosas y bancos delgados de conglomerados y carbón. Esta unidad se encuentra intensamente fracturada.

De acuerdo con el estudio y la cartografía de CORANTIOQUIA del 2002<sup>35</sup>, hay diferencias morfométricas dentro de esta unidad en el área de influencia del medio abiótico, como se indica a continuación:

- Aproximadamente en los 600 y 800 msnm las vertientes son planas a onduladas y de baja inclinación (entre 2° y 16°) y muy extensas; los valles tienen una sección transversal en forma de “V” abierta con muy baja incisión, con diferencias de altura entre los 10 y 40 m.
- Entre los 800 y 1000 msnm aproximadamente, las vertientes son escalonadas; la superficie se caracteriza por tener algunos peldaños en su interior con inclinaciones bajas entre 8° y 16° y mayores hasta de 36° en las márgenes de éstos; los valles tienen una sección transversal en forma de “V” cerrada con una diferencia de altura entre 50 y 150 m.

Desde el punto de vista morfodinámico, esta unidad es susceptible a los movimientos en masa tipo deslizamiento planar, los cuales se desarrollan a lo largo de los planos de estratificación; también a la reptación, en especial en aquellos sitios donde hay suelos residuales. Fotografía 5-8.

---

<sup>35</sup> CORANTIOQUIA Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, op. cit., pp 17 - 19.



**Fotografía 5-8. Expresión geomorfológica de Cuesta (Sc) en el área de influencia del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2022*

- Ladera Estructural de Cuesta (Scle)

En el área de influencia del medio abiótico, esta unidad ocupa gran parte del costado oriental sobre la margen derecha del río Cauca, entre los 600 y 1.000 msnm aproximadamente. Desde el punto de vista morfogenético, esta unidad se desarrolla sobre rocas del Miembro Superior de la Formación Amagá, constituido por areniscas bien cementadas de color crema, arcillas pizarrosas gris verdosas de color ocre, localmente con bancos delgados de conglomerado y de carbón, presenta desarrollo local de suelos residuales gruesos.

Corresponden a vertientes donde se observan las estructuras sedimentarias heredadas de las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Combia y/o sedimentarias de la Formación Amagá; en algunas partes aparecen como superficies levemente inclinadas de formas planas a convexas<sup>36</sup>.

Desde el punto de vista morfométrico, corresponde a una vertiente con estratos dispuestos en favor de la pendiente del terreno con inclinaciones  $<20^\circ$ . Presenta laderas estructurales de longitud moderadamente larga (250 - 500 m) a muy larga (1000-2500 m), de forma

<sup>36</sup> *Ibíd*, p. 16.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

irregular con pendientes inclinadas ( $6^{\circ}$  -  $10^{\circ}$ ) a muy abruptas ( $16^{\circ}$  –  $20^{\circ}$ ) y red de drenajes subparalelos espaciados.

En lo que respecta a la morfodinámica, en esta unidad se desarrollan movimientos en masa clasificados como caídas de detritos y deslizamientos rotacionales, localmente favorecidos por la presencia de suelos residuales gruesos. Fotografía 5-9.



**Fotografía 5-9. Expresión geomorfológica de ladera estructural de cuesta (Scle) en el área de influencia del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2022*

- Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc)

Laderas con estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, de longitud corta (50 – 250 m) a larga (500 – 1000 m), de forma cóncava y con pendientes muy inclinadas ( $11^{\circ}$  –  $15^{\circ}$ ) a muy abruptas ( $21^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ) con un índice de relieve bajo, están asociadas a las laderas estructurales de cuesta. Esta unidad presenta drenaje dendrítico.

Geológicamente esta unidad se desarrolla sobre rocas de edad Terciario de la Formación Amaga - Miembro Superior (Tos), constituida por intercalaciones de areniscas bien cementadas de color crema y arcillas pizarrosas gris verdosas de color ocre, localmente con bancos delgados de conglomerado y de carbón.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

#### 5.1.4.3.2 Unidades Fluviales

Las geoformas fluviales se originan a partir de procesos de erosión – sedimentación, asociados a la dinámica hidrológica de las corrientes de agua como ríos, quebradas y arroyos. De este tipo, se identificaron en el área de influencia del medio abiótico las siguientes unidades: Cono de deyección, Plano o llanura de inundación y Cauce aluvial.

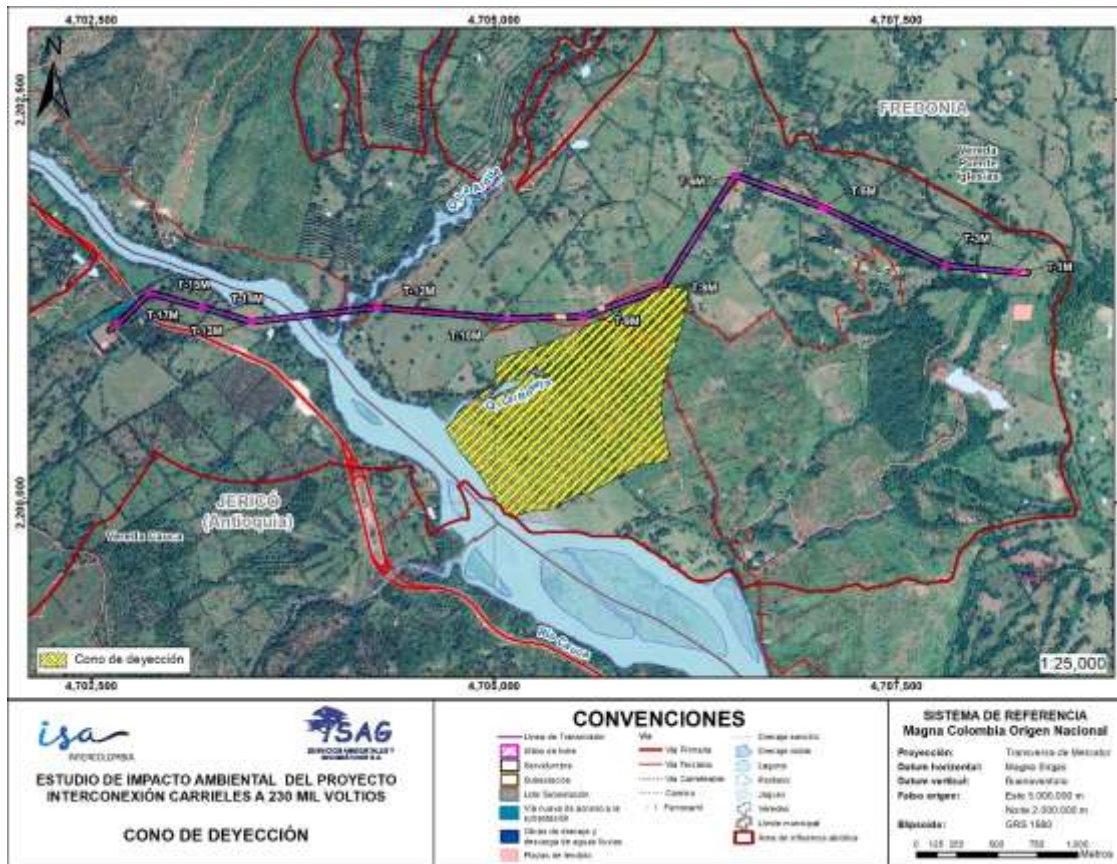
- Cono de Deyección (Fcdy)

En el área de influencia del medio abiótico fue cartografiada en la desembocadura de la quebrada La Rosala al río Cauca, en la margen derecha del mismo. Esta geoforma presenta una morfografía que consiste en una superficie de depositación con forma de cono, con una inclinación menor al 5° y decenas de metros de extensión. El depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.

La morfogénesis está relacionada con la dinámica hidrológica de la quebrada La Rosala, en el AI del medio abiótico, y el río Piedras, en los alrededores.

Desde el punto de vista morfodinámico, esta unidad puede ser susceptible a procesos de socavación lateral o de orillas, dada la presencia de la quebrada La Rosala.





**Figura 5-15. Cono de Deyección (Fcdy). Expresión geomorfológica en el AI del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Plano o Llanura de Inundación (Fpi)

En general, recorre ambas orillas del río Cauca, específicamente en el área de influencia del medio abiótico se encuentra en la parte central como franja elongada a lado y lado del río Cauca, en el fondo del cañón.

Esta unidad geomorfológica consiste en una superficie, de morfología plana a ondulada, de 50 a 1.000 m de amplitud, eventualmente inundable. Está localmente limitada por escarpes de terraza de acumulación. Son las acumulaciones más jóvenes, relacionadas con la actividad de las corrientes fluviales en el Holoceno; su depósito varía en granulometría y composición, de acuerdo con la dinámica de la corriente y las unidades geológicas que drenan.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Geológicamente se desarrolla sobre aluviones recientes, constituidos por la acumulación de materiales no consolidados, heterogéneos, mal seleccionados y sin estratificación; están compuestos de arenas, gravas y arcillas.

Las planicies o llanuras de inundación, en el área de influencia del medio abiótico y en los alrededores, pueden presentar geformas menores como barras longitudinales, terrazas de acumulación y escarpe de terraza de acumulación. Desde el punto de vista morfodinámico son susceptibles a los procesos de socavación lateral o de orillas.



**Fotografía 5-10. Expresión geomorfológica de plano o llanura de inundación (Fpi) en el AI del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2024*

- **Cauce Aluvial (Fca)**

En el área de influencia del medio abiótico corresponde al cauce del río Cauca, el cual cruza dicha área; adicionalmente, se encuentra el cauce de algunos afluentes directos. El cauce aluvial es una unidad en forma de canal irregular excavado por erosión por las corrientes estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias.

En el área de influencia del medio abiótico y en los alrededores estas geformas se restringen a valles estrechos en forma de V cartografiables de los ríos San Juan, Cauca, Poblano, Arma, Cartama, entre otros, algunos de los cuales son cauces rectos, generalmente relacionados con control estructural de fallas regionales o locales como la Falla Arma.



**Fotografía 5-11. Expresión geomorfológica de cauce aluvial (Fca) en el AI del medio abiótico.**

*Fuente: SAG, 2022*

- Barra longitudinal (Fbl)

Esta unidad se caracteriza por presentar una forma romboidal convexo en planta y en superficie de morfología suavemente ondulada, dispuesto paralelo al centro de los cauces fluviales del río Cauca, con la punta más aguda en la dirección de la corriente. Su origen está relacionado a la acumulación de sedimentos durante grandes inundaciones, que luego de disminuir el caudal, quedan como remanentes que dividen la corriente. Su depósito está constituido principalmente por arenas y gravas finas.

Geológicamente se desarrolla sobre cuaternarios, aluviones recientes (Qar), depósitos no consolidados heterogéneos, mal seleccionados compuestos de arenas, gravas y arcillas, sin estratificación.

- Cuerpo de agua artificial (Caa)

Están constituidos por aquellas masas de agua superficiales que son creadas por la actividad humana mediante la construcción de cauces artificiales que luego son rellenados de agua y renovados con el agua de las precipitaciones.

- Cuerpo de agua natural (Can)

Esta unidad es un depósito natural de agua cuyas dimensiones son inferiores, en relación a los lagos tanto en área como en profundidad. Dicha profundidad varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde se localice y a su grado de colmatación (acumulación de sedimentos).

En la [Figura 5-16](#) se muestra la distribución espacial de estas unidades geomorfológicas y en la Tabla 5-8 se presentan agrupadas de acuerdo con el ambiente genético y con el orden jerárquico propuesto por el SGC<sup>37</sup>; se incluyen además las respectivas áreas con el porcentaje de ocupación en el área de influencia del medio abiótico.

De acuerdo con la Tabla 5-8, en el área de influencia del medio abiótico predominan las geformas estructurales Ladera estructural cuesta (Scle) y Cuesta (Sc) conformando el relieve del 60,63% y 15,75% del área, respectivamente. Le siguen las unidades de tipo fluvial - Plano o Llanura de inundación cubriendo un área del 11,67% en ambos lados del río Cauca y el Cono de deyección que ocupa un el 7,02%.

**Tabla 5-8. Unidades geomorfológicas.**

Geomorfología estructura	Región (ambiente)	Unidad	Subunidad	Código	Área		
					ha	%	
Cinturón Orogénico Andino	Estructural	Cuesta	Cuesta	Sc	360,85	15,75%	
			Ladera de contrapendiente de cuesta	Scle	2,25	0,10%	
			Ladera Estructural de Cuesta	Scle	1389,28	60,63%	
	Fluvial	Planicie o Llanura de inundación	Planicie o Llanura de inundación	Fpi	267,47	11,67%	
			Cono fluvial	Cono de Deyección	Fcdy	160,96	7,02%
			Barra	Barra longitudinal	Fbl	2,67	0,12%
			Cauce aluvial	Cauce Aluvial	Fca	102,94	4,49%

<sup>37</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, 2012.

Geomorfología estructura	Región (ambiente)	Unidad	Subunidad	Código	Área	
					ha	%
		Cuerpos de agua	Cuerpos de agua artificial	Caa	0,24	0,01%
			Cuerpos de agua natural	CA	4,67	0,20%
<b>Total</b>					<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

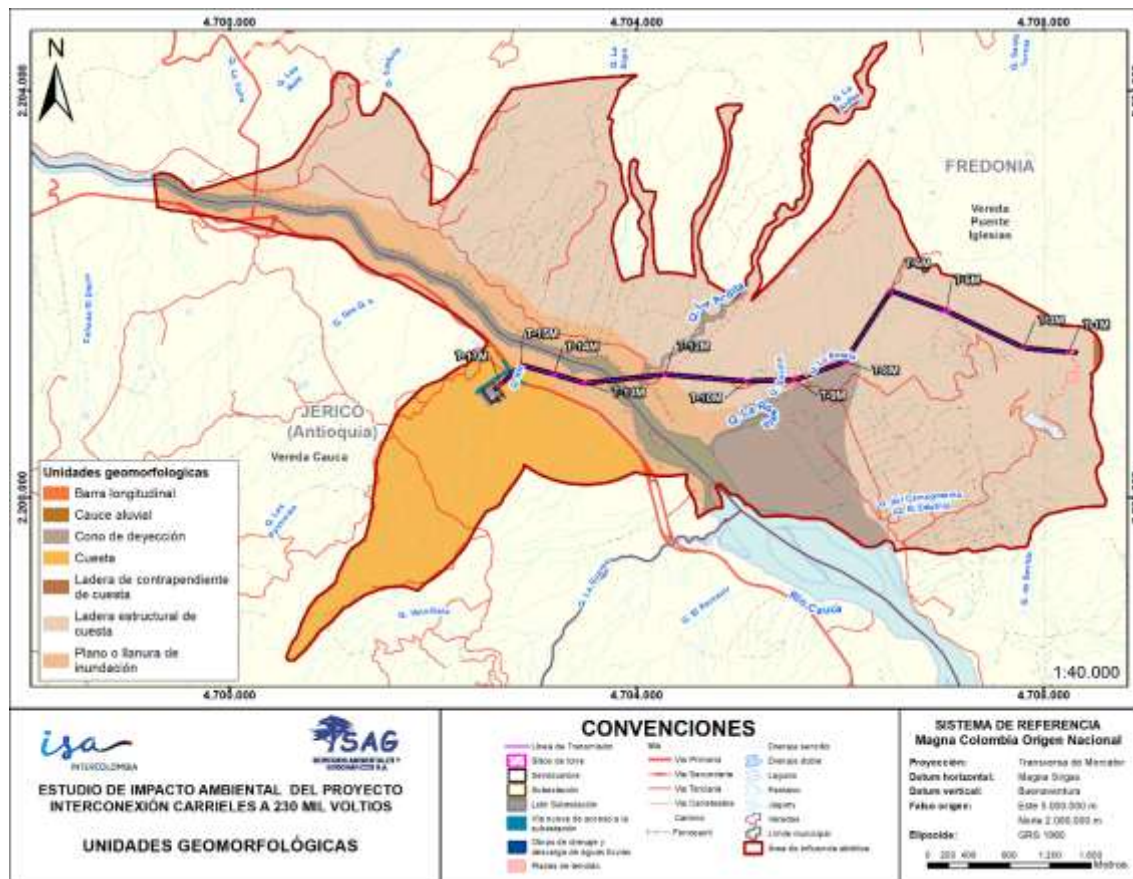


Figura 5-16. Unidades geomorfológicas del área de influencia del medio abiótico.

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.4 Caracterización de procesos morfodinámicos

Para determinar la ocurrencia de procesos erosivos y de procesos de remoción en masa o como se denominan, procesos morfodinámicos, se tomó en cuenta la información disponible sobre las características topográficas, geológicas y geomorfológicas del área de influencia del medio abiótico.

Esta revisión se realizó con ayuda del software ArcGIS, sobre la imagen satelital (ImaSatDet11012022) obtenida del satélite Pléiades-1 (P1), la cual cuenta con tres (3) bandas y una resolución de 50 cm de noviembre del 2022 que cubre el área de influencia del medio abiótico.

En la Tabla 5-9 se presenta cada uno de los procesos morfodinámicos, [interpretados en la imagen del año 2022](#), con su distribución en área y la unidad geológica [sobre la cual se observó](#), nótese que, de [los 37 procesos morfodinámicos](#), [24 se encuentran en la unidad geológica Formación Amaga miembro superior](#), diez (10) se encuentran en la unidad geológica Depósito de vertiente, dos (2) se encuentran en aluviones recientes y uno (1) se encuentra en la Formación Combia.

**Tabla 5-9. Procesos morfodinámicos año 2022.**

Tipo de proceso morfodinámico	Pendiente predominante	Unidad geológica	Área (ha)	Volumen estimado (m3)
Erosión Antrópica	12-25%	Formación Combia	1.71	856
Erosión Antrópica	12-25%	Formación Amaga miembro superior	1.20	602
Erosión Laminar	3-7%	Aluviones recientes	66.11	66106
Erosión Laminar	25-50%	Formación Amaga miembro superior	2.96	2962
Erosión Laminar	25-50%	Formación Amaga miembro superior	19.88	19877
Erosión en Surco	7-12%	Depósito de Vertientes	0.37	1852.78
Movimiento en Masa	50-75%	Formación Amaga miembro superior	0.15	4596.03
Movimiento en Masa	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.29	8597.85
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.13	1343.0
Terraceo	25-50%	Depósito de Vertientes	0.07	730.1
Terraceo	25-50%	Depósito de Vertientes	0.17	1668.8
Terraceo	12-25%	Depósito de Vertientes	0.08	804.0
Terraceo	25-50%	Depósito de Vertientes	0.21	2088.1
Terraceo	12-25%	Depósito de Vertientes	0.81	8076.8
Terraceo	7-12%	Aluviones recientes	0.31	3123.5

Tipo de proceso morfodinámico	Pendiente predominante	Unidad geológica	Área (ha)	Volumen estimado (m3)
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.34	3408.8
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.31	3137.6
Terraceo	7-12%	Formación Amaga miembro superior	0.44	4409.7
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.07	734.4
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.40	4036.3
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.06	557.5
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.11	1077.7
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.06	580.6
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.30	3035.5
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.04	384.0
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.09	862.0
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.04	430.2
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	0.21	2147.4
Terraceo	12-25%	Depósito de Vertientes	0.38	3803.8
Terraceo	12-25%	Depósito de Vertientes	1.09	10859.8
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	2.56	25633.6
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	1.10	10988.8
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	2.29	22945.0
Terraceo	25-50%	Formación Amaga miembro superior	6.35	63499.7
Terraceo	12-25%	Formación Amaga miembro superior	0.66	6593.1
Terraceo	12-25%	Depósito de Vertientes	0.37	3675.7
Terraceo	25-50%	Depósito de Vertientes	0.29	2892.9

Fuente: SAG, 2024

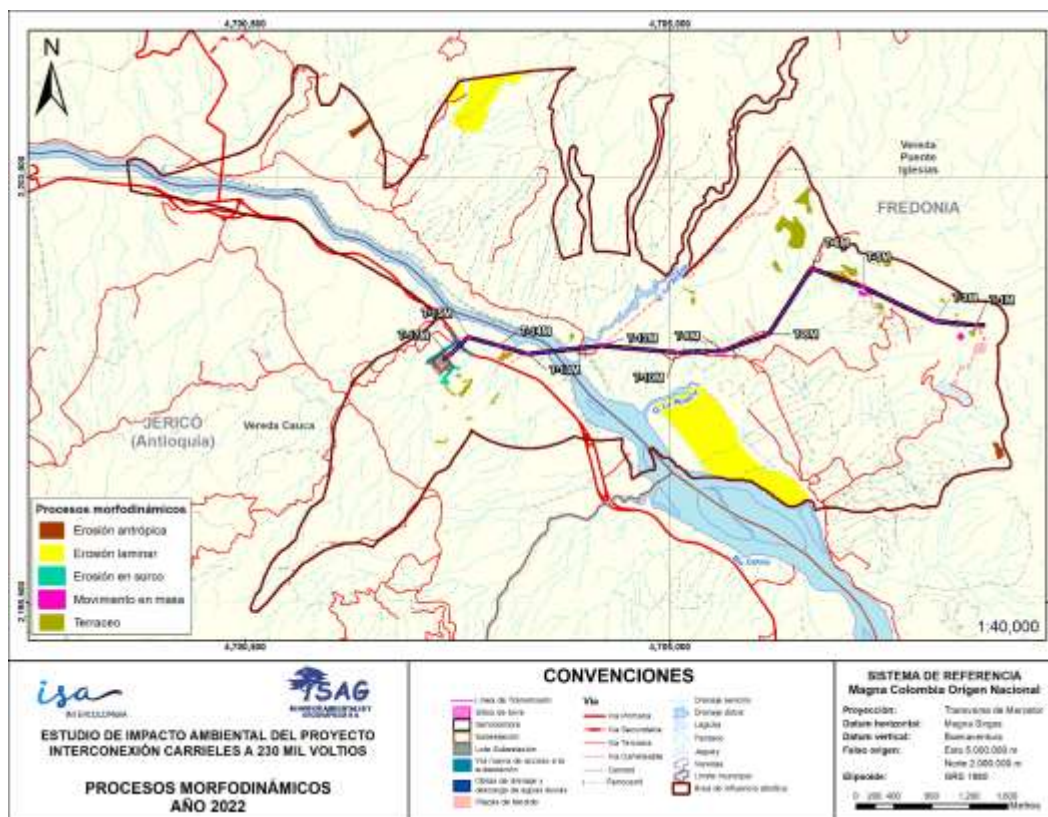
De acuerdo con lo anterior, se pudo determinar que, en la actualidad en el área de influencia se presentan los procesos morfodinámicos de tipo erosión en surco con un 0,02% del AI, el

0,84% presenta terraceo, el 0,13% hay erosión antrópica, el 3,88% tiene erosión laminar, el 0,02% presenta movimientos en masa y el 95,11% del AI no presenta procesos erosivos. En la Tabla 5-10 y en la [Figura 5-17](#) se muestran las áreas de procesos morfodinámicos para el año 2023.

**Tabla 5-10. Procesos morfodinámicos año 2022.**

Procesos morfodinámicos	(ha)	(%)
Erosión antrópica	2,92	0,13%
Erosión en surco	0,37	0,02%
Erosión laminar	88,95	3,88%
Movimiento en masa	0,44	0,02
Terraceo	19,35	0,84
Área sin procesos erosivos	2.179,30	95,11
<b>Total</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-17. Procesos morfodinámicos año 2022.**

Fuente: SAG, 2024



#### 5.1.4.4.1 Análisis multitemporal de procesos morfodinámicos

Para realizar el análisis multitemporal de los procesos morfodinámicos presentes en el área de influencia del medio abiótico, se utilizaron las imágenes satelitales obtenidas para el 2020 y 2015 que corresponde a la imagen más antigua. A continuación, se relaciona la información de éstas:

##### 5.1.4.4.1.1 Análisis año 2020

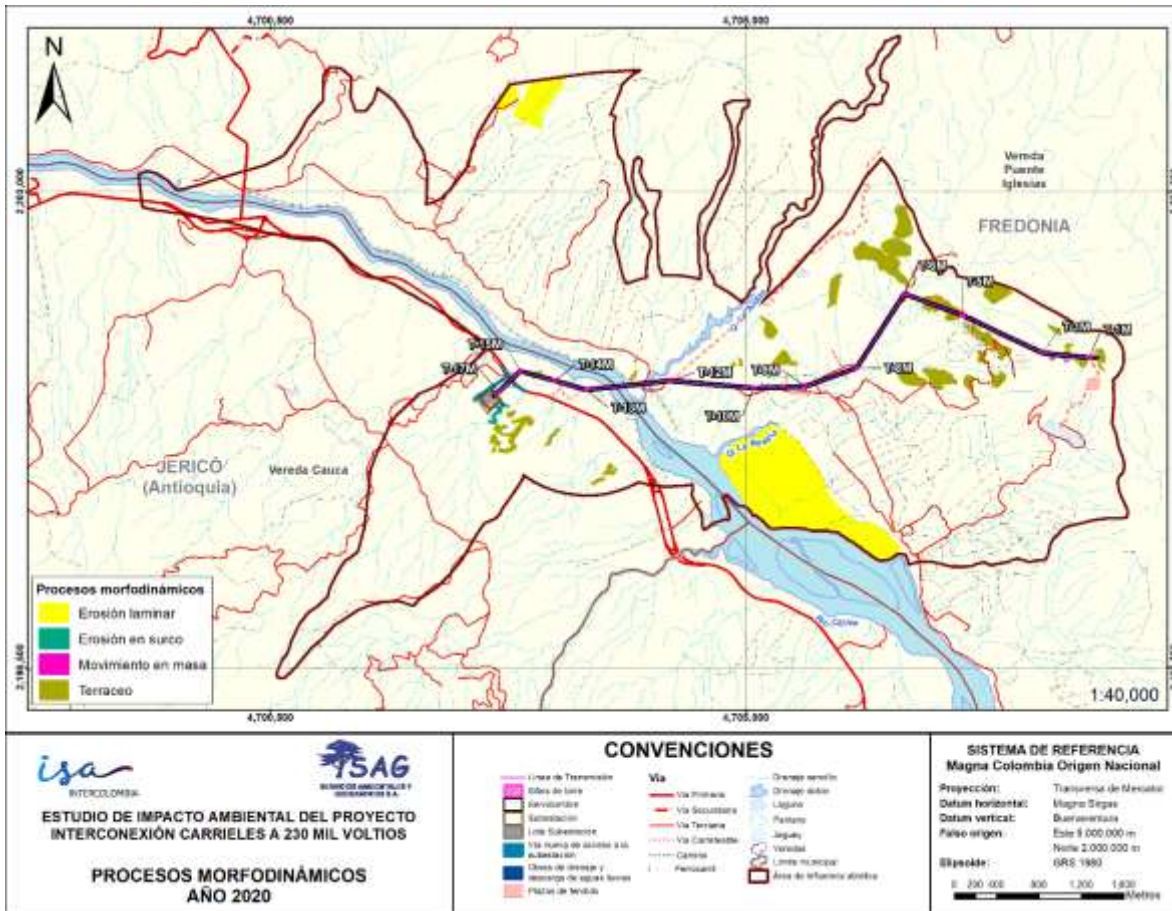
La revisión del año 2020 se realizó con ayuda de la imagen satelital (ImaSatDet11292020) obtenida del satélite Pléidaes-1 (P1), que cuenta con tres (3) bandas y una resolución de 50 cm de noviembre de 2020 que cubre el área de influencia del medio abiótico.

Para el año 2020 se encontró que el 93,59% del área de influencia no presentan procesos erosivos, el 4,33% presentan erosión laminar, el 2,06% del área presenta terraceo, el 0,01% del área presenta movimientos en masa y el 0,01% presenta erosión en surco. En la [Figura 5-18](#) y en la [Tabla 5-11](#) se presentan las áreas obtenidas.

**Tabla 5-11. Procesos morfodinámicos año 2020.**

Procesos morfodinámicos	Área (ha)	Área (%)
Erosión de Surco	0,31	0,01
Erosión Laminar	99,28	4,33
Movimiento en Masa	0,13	0,01
Terraceo	47,10	2,06
Área sin procesos erosivos	2.144,50	93,59
Total, general	2.291,33	100,00

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-18. Procesos morfodinámicos año 2020.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.4.1.2 Análisis año 2015

La revisión del año 2015 se realizó con ayuda de una imagen satelital (ImaSatDet01012015) obtenida del satélite Pléiades-1 (P1), que cuenta con tres (3) bandas y una resolución de 50 cm de enero del 2015 que cubre el área de influencia del medio abiótico.

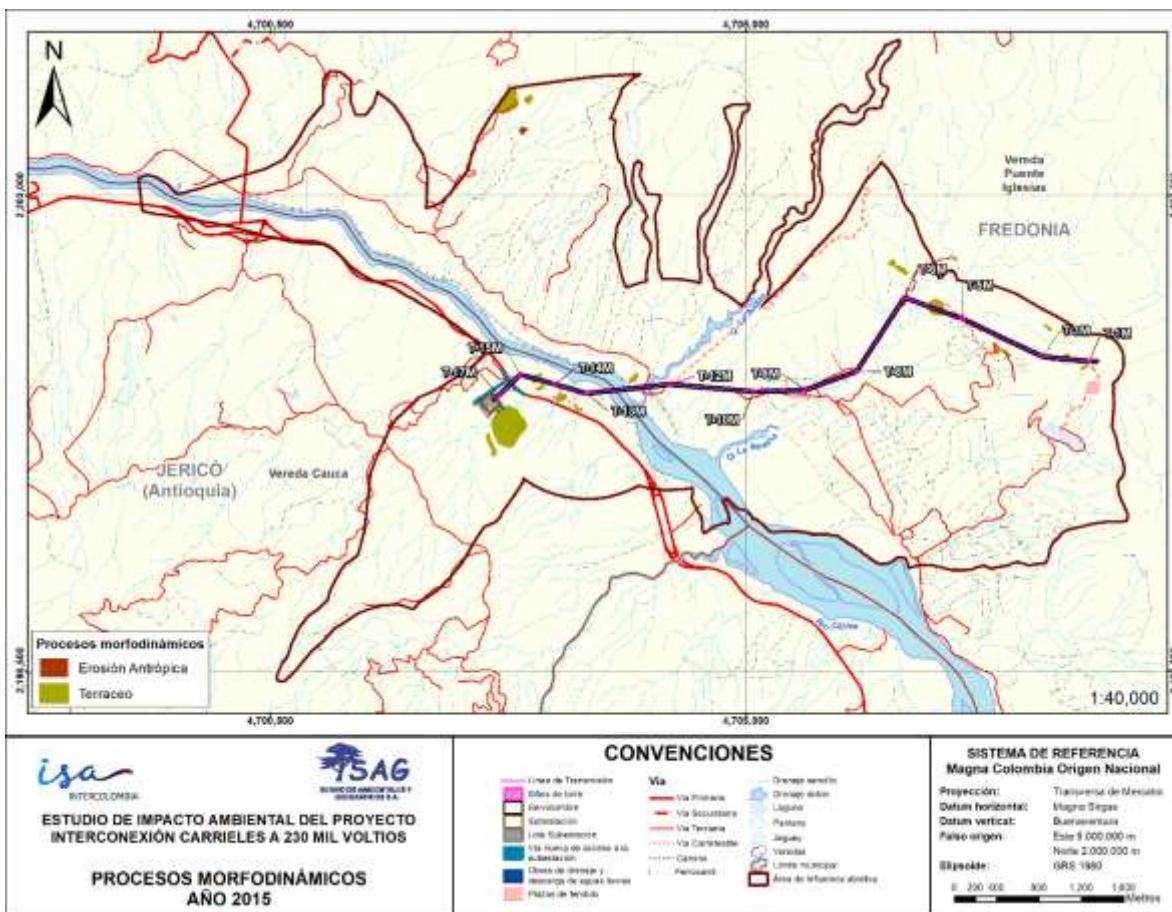
Para el año 2015 se encontró que el 99,24% del área de influencia no presentan procesos erosivos, el 0,74% tiene terraceo y en el 0,02% hay erosión antrópica. En la Tabla 5-12 y en la Figura 5-19 se presentan las áreas obtenidas.

**Tabla 5-12. Procesos morfodinámicos año 2015.**

Procesos morfodinámicos	Área (ha)	Área (%)
Erosión antrópica	0,39	0,02%

Procesos morfodinámicos	Área (ha)	Área (%)
Terraceo	16,98	0,74
Área sin procesos erosivos	2.273,96	99,24
<b>Total</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-19. Procesos morfodinámicos año 2015.**

Fuente: SAG, 2024

Según el análisis multitemporal se logra identificar un aumento del área que presenta procesos morfodinámicos. También se observa que el proceso morfodinámico que se repite en los tres (3) años analizados es el terraceo, con mayor presencia en Al abiótica en el año 2020 con un 2,06% del área, presentando los mismos focos de terraceo, pero con diferentes áreas en los años analizados. Para el año 2022, los procesos tipo terraceo presentan una disminución de área debido a un cambio en el uso del suelo, el cual pasó de un uso para

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

ganadería a un uso para cultivos arbóreos. La presencia de movimientos en masa se da a partir del año 2020, presentándose un leve aumento de área en el año 2022; la erosión laminar hace presencia en el año 2020 siendo el proceso morfodinámico con mayor área tanto en el año 2020 como en el año 2022.

#### 5.1.4.5 Amenaza por Movimientos en masa

##### 5.1.4.5.1 Susceptibilidad

La susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa está relacionada con la sensibilidad del terreno al desarrollo de procesos morfodinámicos, la cual puede estar favorecida por las características físicas, las condiciones particulares del territorio o por la ocurrencia de eventos meteorológicos, hidrológicos, sísmicos, etc.

Para el área de influencia del medio abiótico, las variables seleccionadas para la susceptibilidad por la ocurrencia a procesos erosivos y de remoción en masa fueron las siguientes: pendiente, unidad geológica, unidad geomorfológica, coberturas de la tierra, distancia a cuerpos de agua natural y la unidad hidrogeológica.

A partir de la sensibilidad asociada a cada variable, a la ponderación de estas según el peso asignado a cada una, y al álgebra de mapas, se hicieron aproximaciones conceptuales sobre la sensibilidad de suelo con respecto a los fenómenos de remoción en masa; el resultado final se podría considerar como un indicador grueso de la resistencia del suelo.

La susceptibilidad de cada variable de sensibilidad y el resultado final se realizó mediante el método heurístico; es decir, con base en la experticia del equipo que realiza el análisis de susceptibilidad por ocurrencia a procesos erosivos y de remoción en masa. Igualmente, se soportó con datos hidrológicos, meteorológicos, hidrogeológicos, etc., reportados en la literatura científica y académica.

Una vez seleccionadas las variables, estas se calificaron con una escala de valores de sensibilidad de 1 a 5, que indica el mayor o menor grado de sensibilidad geotécnica que ofrece la variable analizada; esta calificación se realizó mediante el software ArcGIS 10.8.

##### 5.1.4.5.1.1 Pendiente

La pendiente es un factor primordial en el análisis de la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa y erosión. Así, a mayor pendiente, mayor es la sensibilidad del terreno; las categorías de pendientes evaluadas se tomaron a partir de los rangos sugeridos por la ANLA para la presentación de estudios ambientales<sup>38</sup>.

La Tabla 5-13 contiene los rangos de pendientes establecidos y la calificación de sensibilidad por esta variable.

<sup>38</sup> ANLA. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Op.Cit.p.62

**Tabla 5-13. Categorías de sensibilidad por pendientes.**

Pendientes	Valor (%)	Sensibilidad	
		Valor	Categoría
A nivel	0-1	1	Muy baja
Ligeramente plana	1-3		
Ligeramente inclinada	3-7		
Moderadamente inclinada	7-12	2	Baja
Fuertemente inclinada	12-25		
Fuertemente inclinada y ligeramente escarpada	25-50	3	Moderada
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	50-75	4	Alta
Fuertemente empinada o fuertemente escarpada	75-100		
Totalmente escarpada	>100	5	Muy alta

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.2 Unidades geológicas

La unidad geológica es una variable importante para la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa, ya que los materiales geológicos responden de manera diferente a las cargas, cortes y excavaciones y, en general, a los esfuerzos, de acuerdo con las propiedades geomecánicas, el grado de meteorización y las características texturales y estructurales. El desarrollo de movimientos en masa, erosión y en general, el comportamiento de las laderas presenta una relación estrecha con la unidad litológica o formación superficial.

En la Tabla 5-14 se presentan algunas características de las unidades geológicas que afloran en el área de influencia del medio abiótico y que fueron tenidas en cuenta para estimar la sensibilidad por esta variable; entre ellas, el grado de consolidación, la presencia de materia orgánica, las características texturales y con ellas, la capacidad de infiltración; la dureza de los estratos (cuando corresponda), el grado de movilidad de los materiales, entre otros.

**Tabla 5-14. Características generales de las unidades geológicas del área de influencia del medio abiótico.**

Unidad Geológica	Código	Composición
Formación Amagá. Miembro Superior	Ngas	De la información geológica <sup>39</sup> referenciada sobre esta unidad se retomó la siguiente información relevante: se caracteriza por el predominio de areniscas deleznable y arcillolitas, y por la ausencia de mantos de carbón y de conglomerado. Conformada por litoarenitas volcánicas, localmente feldespáticas de grano fino, compuestas principalmente de fragmentos de basaltos y andesitas; presentan abundantes

<sup>39</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA – INGEOMINAS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica (Magnetométrica) de las Planchas 166, 167, 186 y 187, Bogotá, 2005. pp.117-118.

Unidad Geológica	Código	Composición
		(40-50%) de láminas de materia orgánica carbonosa y carbón.
Formación Combia	Ngc	Son rocas, principalmente volcánicas, que afloran sobre las vertientes oriental y occidental del río Cauca. Se divide esta formación en dos (2) miembros: uno volcánico y otro donde predominan rocas sedimentarias mal consolidadas <sup>40</sup> . Por correlación con otras unidades cuyas edades han sido determinadas por métodos palinológicos y/o paleozoológicos, ha sido considerada como Mioceno superior- Plioceno <sup>41</sup> .
Aluviones Recientes	Qal	Depósitos acumulados sobre valles bien establecidos de ríos permanentes; constituidos por bancos de grava gruesa con intercalaciones guijosas y limo; depósitos no consolidados heterogéneos y mal seleccionados, con o sin estratificación.
Depósitos de Vertiente	Qdv	Se caracteriza por ser un depósito heterogéneo no consolidado de matriz areno limosa a areno arcillosa, con presencia de clastos angulosos con un tamaño entre 0,2 m a 6 m aproximadamente, de origen volcánico. Esta unidad no siempre se encuentra fresca, ya que suele meteorizarse con una coloración ocre, con bloques en proceso de meteorización esferoidal sobre algunos.

*Fuente: SAG, 2024*

En la Tabla 5-15 se presentan las categorías de sensibilidad por unidades geológicas que se contemplan para el área de influencia del medio abiótico.

**Tabla 5-15. Categorías de sensibilidad por unidades geológicas.**

Unidad Geológica	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Formación Amagá Miembro Superior (Ngas)	3	Moderada
Formación Combia		
Aluviones recientes (Qal)	4	Alta
Depósitos de vertiente (Qdv)		

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.3 Unidades geomorfológicas

La sensibilidad asociada a las unidades geomorfológicas se determina considerando las formas del relieve, su morfometría, los procesos morfodinámicos recurrentes o predominantes y, en general, la evaluación de atributos de estabilidad.

<sup>40</sup> Ibid., p.78.

<sup>41</sup> Ibid., p.15.

En la Tabla 5-16 se presentan los valores de sensibilidad asignados a las diferentes unidades geomorfológicas del área de influencia del medio abiótico.

**Tabla 5-16. Categorías de sensibilidad por unidades geomorfológicas.**

Unidad Geomorfológica	Código	Sensibilidad	
		Valor	Categoría
Cuesta	Sc	2	Baja
Ladera de Cuesta	Scle		
Plano o llanura de inundación	Fpi	4	Alta
Cauce	Fca	5	Muy Alta
Cono de deyección	Fcdy		

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.4 Cobertura de la tierra

Representa la contribución de la vegetación en la estabilidad, siendo menos susceptibles a movimientos en masa aquellas laderas con mayor cobertura vegetal y mayor susceptibilidad aquellas que están intervenidas y expuestas a la intemperie. El factor de uso del suelo es en ocasiones un agente regulador de los procesos erosivos, ya que cumple varias funciones importantes que inciden en la estabilidad de taludes. Entre las más destacadas están: interceptar y absorber la energía de la lluvia previniendo el impacto de las gotas de agua directamente en el suelo, el amarre del sistema de raíces que retiene las partículas del suelo y aumenta el coeficiente de rugosidad del terreno disminuyendo la velocidad de escorrentía, las raíces y las plantas ayudan a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo, entre otras.

En Tabla 5-17 se muestra la manera como se valoró la susceptibilidad de la cobertura a los procesos de movimientos en masa de acuerdo con la leyenda Corine Land Cover.

**Tabla 5-17. Categorías de sensibilidad por coberturas de la tierra.**

Cobertura	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Bosque de galería y ripario	1	Muy Baja
Lagunas, lagos y ciénagas naturales		
Cuerpos de agua artificiales		
Zonas pantanosas		
Ríos (50m)		
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2	Baja
Vegetación secundaria o en transición		
Bosque fragmentado		
Plantación forestal		
Cultivos arbóreos	3	Moderada
Cultivos arbustivos		

Cobertura	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
Mosaico de pastos con espacios naturales		
Pastos arbolados		
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		
Tejido urbano discontinuo		
Mosaico de pastos y cultivos	4	Alta
Cultivos permanentes arbóreos		
Tejido urbano continuo		
Pastos limpios		
Pastos enmalezados		
Zonas arenosas naturales	5	Muy Alta
Tierras desnudas y degradadas		

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.5 Distancia a cuerpos de agua natural

Como bien es de saber, el agua es el factor que comúnmente está asociado a los procesos de remoción en masa y erosivos, socavación de orillas, entre otros. Muchos de estos procesos se desencadenan después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos. Los ríos, quebradas, lagunas, cañadas, canales, etc., pueden presentar crecientes debido a las lluvias, y de esta forma presentarse infiltraciones localizadas en laderas, taludes o zonas de pendiente media a alta y desencadenar un proceso de remoción en masa. Las zonas más cercanas a los cuerpos de agua son las que presentan una mayor sensibilidad a procesos de erosión y, por ende, son las más inestables. En la Tabla 5-18 se indican los valores de sensibilidad utilizados en el estudio. Se aclara que las distancias mencionadas se establecen a partir de las planchas cartográficas del IGAC a escala 1:25.000.

**Tabla 5-18. Sensibilidad por distancia a cuerpos de agua naturales.**

Distancia a cuerpos de agua (incluye encharcamientos, cuerpos de agua naturales lentico y loticos)	Susceptibilidad	
	Categoría	Valor
Más de 100 m sin amenaza	Sin susceptibilidad	0
50 a 100	Muy Baja	1
30 a 50 metros	Baja	2
10 a 30 metros	Media	3
5 a 10 metros	Alta	4
≤ 5 metros	Muy Alta	5

*Fuente: SAG, 2024*



#### 5.1.4.5.1.6 Unidades hidrogeológicas

La unidad hidrogeológica es una variable que se relaciona directamente con el tipo de roca, las características texturales y estructurales y la porosidad y permeabilidad de las unidades geológicas aflorantes. Esta serie de atributos describe la cualidad de almacenar, retener o comunicar el paso de agua desde la superficie hacia la profundidad.

En el análisis de sensibilidad, esta variable fue considerada en función de las implicaciones que tiene la capacidad de las unidades geológicas para retener agua en el incremento de la presión de poros, en el desarrollo de fenómenos de remoción en masa y en la presencia de zonas inestables.

En la Tabla 5-19 se presentan algunas características relevantes de las unidades hidrogeológicas identificadas en función de la sensibilidad en el área de influencia del medio abiótico.

**Tabla 5-19. Características relevantes de las unidades hidrogeológicas.**

Unidad Hidrogeológica	Características
UH-A1	Unidad Geológica: Aluviones Recientes (Qal), conformada por los depósitos de terrazas y llanuras de inundación del río Cauca y las quebradas La Ardita y La Rosala. Acuíferos libres a semiconfinados; tienen porosidad primaria, continuos y de extensión regional; profundidades entre 32 y 43 m en la margen derecha, y de 30 m en la margen izquierda.
UH-A4	Unida geológica: representada por la unidad de Aluviones Recientes (Qal) de las quebradas La Tuntuna al oeste del AI y dos (2) afluentes de la quebrada La Ardita; conformados por bloques, gravas, arenas y limos. Se presume que pueden formar acuíferos locales, baja productividad, porosidad primaria, poco espesor (5m, probablemente).
UH-B4	Unidades geológicas: Miembro Superior de la Formación Amagá (Ngas). Acuífero con porosidad secundaria; aunque en los sondeos realizados no se encontró agua a profundidades inferiores a 60 m, no se descarta la presencia de niveles de agua más cercanos a la superficie debido a la presencia de aljibes y nacimientos en el área.
UH-C1	Unidades geológicas: Depósitos de vertiente (Qdv) y Formación Amagá (Ngas).  Características hidrogeológicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Depósito de vertiente: compuesto por material no consolidado de matriz areno limosa a areno arcillosa, con presencia de clastos angulosos de origen volcánico; espesores que varían entre 2,25 y 148 m, siendo mayor en las cercanías a la zona del escarpe; espesores saturados entre 11 y 139 m; clasificada</li> </ul>

Unidad Hidrogeológica	Características
	<p>como un acuitardo debido a su capacidad para almacenar y dificultad para transmitir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formación Amagá (Ngas): se encuentra infrayaciendo el depósito de vertiente (Qdv) en la margen derecha del río Cauca, solo aflora en zonas puntuales; los espesores varían entre 26 a 94 m.</li> </ul>

*Fuente: SAG, 2024*

En la Tabla 5-20 se presentan las categorías de sensibilidad para las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia del medio abiótico, de acuerdo con los parámetros de la tabla anterior (Tabla 5-19).

**Tabla 5-20. Categorías de sensibilidad por unidades hidrogeológicas.**

Unidad Geológica	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
UH-C1	2	Bajo
UH-A4		
UH-B4	3	Moderado
UH-A1	4	Alto

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.7 *Procesos morfodinámicos*

La presencia de procesos morfodinámicos representa una variable que de manera directa determina el desencadenamiento de procesos de movimientos en masa, debido a que representan una evidencia de procesos actuales o antiguos. En el área de influencia se encuentran procesos morfodinámicos de tipo erosión en surco, erosión laminar, erosión antrópica, terraceo y movimiento en masa.

A los diferentes tipos de procesos morfodinámicos que se presentan en el área de influencia, se les asignó una ponderación de la sensibilidad de dichas áreas a presentar movimientos en masa (Ver Tabla 5-21).

**Tabla 5-21. Categorías de susceptibilidad por procesos morfodinámicos.**

Proceso morfodinámico	Calificación	Susceptibilidad
Movimiento en masa	5	Muy alta
Terraceo	3	Media
Erosión antrópica	3	Media
Erosión laminar	3	Media
Erosión en surco	3	Media

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Proceso morfodinámico	Calificación	Susceptibilidad
Área sin procesos morfodinámicos	1	Muy baja

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.5.1.8 Cálculo de la susceptibilidad

Con base en los factores condicionantes mencionados se evaluó la susceptibilidad mediante la siguiente expresión:

$$\text{Sensibilidad total} = (LF * Pe) + (Ug * Pe) + (Uh * Pe) + (P * Pe) + (Cb * Pe) + (Dca * Pe) + (Pmd * Pe)$$

Dónde:

- LF=Unidades litológicas
- Ug=Unidades geomorfológicas
- Uh=Unidades hidrogeológicas
- P=Pendiente
- Cb=Coberturas de la tierra
- Dca=Distancia cuerpos de aguas naturales
- Pmd=Procesos morfodinámicos
- Pe=Peso

Los pesos de las variables utilizadas se presentan en la Tabla 5-22.

**Tabla 5-22. Pesos designados a las variables**

Variable	Peso (%)
Unidad litológica o formación superficial	10
Unidades geomorfológicas	15
Distancia a cuerpo de agua	10
Pendientes	20
Coberturas de la tierra	15
Unidades hidrogeológicas	10
Procesos morfodinámicos	20

*Fuente: SAG, 2024.*

Como ya se ha mencionado, cada una de las variables es importante a la hora de estudiar la amenaza por remoción en masa. En general, las pendientes y las coberturas son variables que más se destacan en la generación de procesos erosivos y es por esta razón que son las que presentan mayor peso para el análisis de la Amenaza por remoción en masa. A las demás variables se les asigna un peso menor, ya que dado las condiciones de la zona tienen una representatividad similar en el análisis de estabilidad.

Una vez realizada la calificación total de sensibilidad, los resultados obtenidos se recategorizaron para establecer cinco (5) rangos de calificación a los cuales se les asignaron categorías de susceptibilidad. Los valores más bajos corresponden a las zonas más estables mientras que los valores altos corresponden a zonas con una mayor

sensibilidad a presentar procesos de movimientos en masa. La Tabla 5-23 muestra los rangos de estabilidad establecidos.

**Tabla 5-23. Susceptibilidad a los movimientos en masa.**

Susceptibilidad movimiento en masa	Valor
Muy Alta	4,21 - 5
Alta	3,41 - 4,2
Media	2,61 - 3,4
Baja	1,81 - 2,6
Muy Baja	1 -1,8

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.5.2 Factores detonantes

Por definición un detonante es un estímulo externo tal como una lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, etc., cuya respuesta casi inmediata es una remoción en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud<sup>42</sup>. Los factores detonantes analizados fueron las lluvias y los sismos.

##### 5.1.4.5.2.1 Precipitación

La precipitación es el volumen o altura de la lámina de agua lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo; tiene una influencia directa en la infiltración y en el régimen del agua subterránea, y a su vez afecta la estabilidad de taludes o laderas (Suárez, 1998)<sup>43</sup>.

Durante eventos intensos de lluvia o en precipitaciones de larga duración los suelos se saturan, aumenta la presión de poros y se desencadenan fenómenos de remoción en masa y procesos de erosión hídrica y, en general, problemas de estabilidad de laderas y taludes.

Para la sensibilidad de este factor detonante, se recurrió a la clasificación de la precipitación del IDEAM<sup>44</sup>, la cual es específica para climas cálidos, caracterizados por temperaturas mayores de 24°C y alturas entre 0 y 800 msnm. Se anota que la mayor parte del área de influencia del medio abiótico se encuentra a menos de 1.000 msnm (ver Tabla 5-24).

**Tabla 5-24. Clasificación de las precipitaciones.**

Precipitación promedio (mm/año)	Factor detonante precipitación	
	Categoría	Sensibilidad
Menos de 1600	Muy baja	1
1600-2100	Baja	2

<sup>42</sup> SGC. 2017

<sup>43</sup> SUAREZ, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1998.

<sup>44</sup> IDEAM, IAvH, IIAP, INVEMAR y SINCHI (Eds). Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia, Bogotá, 2007.

Precipitación promedio (mm/año)	Factor detonante precipitación	
	Categoría	Sensibilidad
2100-2600	Media	3
2600-3200	Alta	4
>3200	Muy alta	5

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.5.2.2 Sismicidad

Para este factor detonante se analizó la información del Mapa de amenaza sísmica nacional para un periodo de retorno de 475 años en roca del Servicio Geológico Colombiano. En este caso, se conservaron las categorías de clasificación del SGC para el área de influencia del medio abiótico. En la Tabla 5-25 se muestran las categorías de sensibilidad dadas para esta variable, debido a que toda el área se encuentra bajo un mismo grado de amenaza, el 100% presenta sensibilidad Media por amenaza sísmica.

**Tabla 5-25. Categorías de sensibilidad por amenaza sísmica.**

Amenaza sísmica	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Baja	2	Baja
Media	3	Moderada
Alta	4	Alta
Muy alta	5	Muy alta

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.4.5.2.3 Índice de factores detonantes

Con los resultados de las evaluaciones de los factores detonantes se calculó el índice de factores detonantes, mediante la siguiente expresión:

$$ID = (FP*0,55) + (FS*0,45)$$

Donde:

- **ID:** índice de factores detonantes
- **FP:** factor de precipitación
- **FS:** factor de sismicidad

#### 5.1.4.5.3 Análisis de la Amenaza por movimiento en masa

Una vez definida la susceptibilidad, se analizaron los posibles factores detonantes que pueden generar súbitamente procesos de inestabilidad, por lo tanto, al análisis de susceptibilidad se le integra la caracterización de los factores detonantes para obtener los niveles de amenaza mediante la siguiente expresión:

$$AMM = (SMM*0,7) + (ID*0,3)$$

Donde:

- **AMM:** amenaza por movimientos en masa
- **SMM:** susceptibilidad por movimientos en masa
- **ID:** índice de factores detonantes

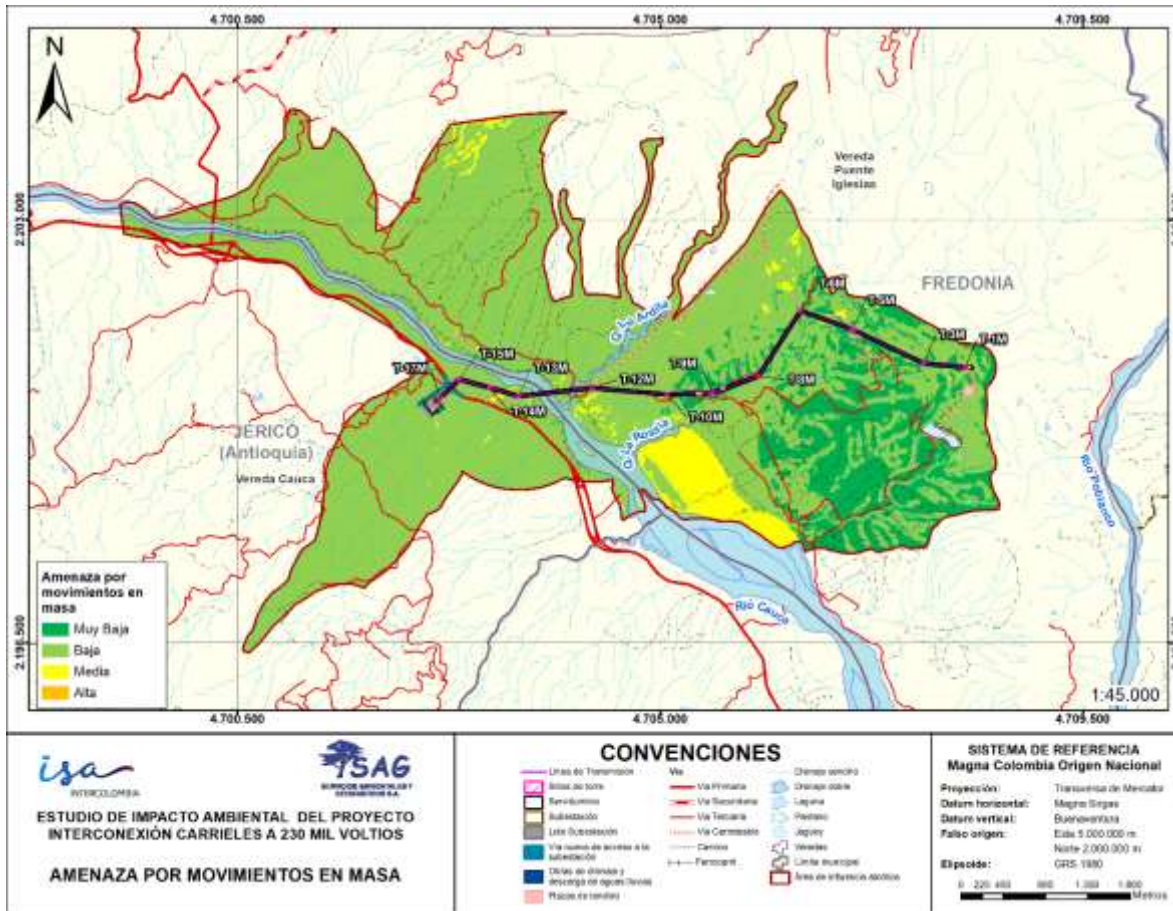
En el numeral *10.1.4.2.3.2.1.2 Amenaza por movimientos en masa*, correspondiente al Plan de Gestión del Riesgo de Desastres del EIA, se presentan los mapas de todas las variables empleadas en la obtención de la susceptibilidad por movimientos en masa y las empleadas para el índice de factores detonantes, así como dichos resultados intermedios.

En la Figura 5-20 se observa la distribución espacial del resultado de la Amenaza por movimientos en masa en el área de influencia del medio abiótico, además, en la Tabla 5-26 se muestra la distribución de áreas. Se observa que el **82,08%** del AI abiótica corresponde a zonas de amenaza **Baja**, el **13,28%** corresponde a zonas de amenaza **Muy baja**, el **4,57%** presenta amenaza **media** y el **0,06%** corresponde a amenaza **Alta**.

**Tabla 5-26. Amenaza por movimiento en masa en área de influencia del medio abiótico.**

Amenaza Movimiento en masa	Área (Ha)	Porcentaje área
Alta	1.45	0.06%
Media	104.83	4.57%
Baja	1880.74	82.08%
Muy baja	304.32	13.28%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-20. Amenaza por movimiento en masa.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.4.6 Amenaza por Avenidas torrenciales

En el medio colombiano, debido a sus características topográficas y climáticas, son frecuentes las manifestaciones de grandes flujos sobre los cuerpos de agua de alta montaña, flujos que desplazan una alta cantidad de agua y detritos; los cual le confieren una alta energía y, por ende, un alto potencial de generar daño a la infraestructura existente en sus alrededores.

Desde el punto de vista de la geomorfología, una avenida torrencial es un tipo de movimiento en masa caracterizado por el flujo rápido de una mezcla caótica de sólidos y agua que pueden desplazarse a grandes velocidades colocando en peligro a los habitantes

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

e infraestructura ubicada en las zonas de acumulación, de cuencas de montaña susceptibles a presentar este tipo de fenómenos<sup>45</sup>.

Es necesario considerar dos momentos dentro de los fenómenos de avenida torrencial: el desprendimiento o socavación del material sólido hacia un cuerpo de agua cercano y la acumulación o deposición de los materiales en las zonas ubicadas geográficamente aguas abajo del sitio de generación del fenómeno. En este sentido, la parte alta de una cuenca hidrográfica está caracterizada por un potencial mayor de generación de estos procesos de transporte, mientras las zonas bajas de la cuenca se catalogan como sitios de deposición de materiales.

Para el análisis multicriterio se seleccionaron aquellos factores que poseen influencia en la generación de avenidas torrenciales y de los cuales se cuenta con información cartográfica al interior del área de estudio del proyecto. Los factores utilizados en el análisis se observan en la Tabla 5-27.

**Tabla 5-27 Descripción de los factores utilizados para el análisis multicriterio en la estimación de la amenaza por avenidas torrenciales.**

Factor	Descripción
Unidad geológica	Mapa de unidades geológicas. Representa las condiciones de formación y características de las unidades que pueden potenciar movimientos en masa.
Unidad geomorfológica	Mapa de unidades geomorfológicas. Representa la forma superficial del terreno en la zona, evidenciando las zonas de posible depósito de avenida torrencial
Flujo acumulado	Mapa de acumulación de flujo generado a partir del DEM. Representa la sumatoria de los píxeles que drenan hacia cada punto al interior del área de estudio.
Pendientes	Mapa de pendientes expresada en %. Influye directamente en la inestabilidad del suelo y la roca en condiciones sinérgicas con la cobertura, unidad geológica, humedad, etc. También se correlaciona indirectamente con la posibilidad de deposición de materiales transportados por las corrientes.
Distancia al cauce	Mapa con información sobre la distancia de cada punto al cauce más cercano. Representa la posibilidad de deposición o acumulación de materiales en ese punto.
Microcuencas	Mapa con el trazado de microcuencas en la zona.
Precipitación	Mapa de precipitación. Para calcular esta variable se tuvieron en cuenta los valores de precipitación anual.

*Fuente: SAG, 2024*

<sup>45</sup> CABALLERO ACOSTA, José Humberto. Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el Valle de Aburrá. Medellín: Gestión y ambiente, 2011.



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

Ya que los factores a utilizar en el análisis cualitativo no son dimensionalmente homogéneos, se procedió a normalizar los valores de cada factor en una escala entre 0 y 1; donde 0 representa una baja influencia en la generación de amenazas y 1 representa una alta influencia en la generación de amenazas. Para la normalización de los factores se utilizaron funciones sigmoideas crecientes y decrecientes, las cuales se caracterizan por la asignación de un umbral superior e inferior entre los cuales la distribución de los datos se ajusta aproximadamente a una función lineal (Montoya Jaramillo et al., 2009). Utilizando el criterio juicio de expertos del grupo formulador del PGRD, se asignó la criticidad a los factores de geología y geomorfología. Basados en la literatura (Montoya Jaramillo et al., 2009), se definieron los umbrales y funciones de normalización para cada factor, los cuales se muestran en la Tabla 5-28.

**Tabla 5-28 Factores de análisis utilizados en la metodología multicriterio con su respectiva normalización.**

Factor	Función Sigmoidal	Umbral Superior	Umbral Inferior	Función de Normalización	Normalización Final (0-1)	
					Categoría	Valor
Unidades Geología	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Formación Amagá Miembro Superior	0,3
					Formación Combia	0,3
					Aluviones Recientes	1
					Depósitos de Vertiente	0,3
Unidades Geomorfología descargue de material	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Cuesta	0,2
					Ladera de contrapendiente de cuesta	0,2
					Ladera Estructural de Cuesta	0,2
					Planicie o Llanura de inundación	0,5
					Cono de Deyección	1
					Barra longitudinal	0,5
					Cauce Aluvial	1
					Cuerpos de agua artificial	0,3
					Cuerpos de agua natural	0,3
					Mapa de flujo acumulado	Creciente
Si, $0 < N < 1$	N					
Si, $N \geq 1$	1					
Pendientes**	Decreciente	70%	5%	$N = \frac{70\% - P_i}{65\%}$	Si, $N \leq 0$ ;	0

Factor	Función Sigmoidal	Umbral Superior	Umbral Inferior	Función de Normalización	Normalización Final (0-1)	
					Categoría	Valor
					Si, 0<N<1	N
				Donde N es la normalización y Pi es la pendiente particular de cada celda.	Si, N≥1	1
Distancia al cauce***	Decreciente	250 metros	30 metros	$N = \frac{250 - X_i}{220}$	Si, N≤0; valor normalizado=0	0
					Si, 0<N<1; valor normalizado=N	N
					Si, N≥1; valor normalizado=1	1
Microcuencas	No aplica	No aplica	No aplica	Función de Torrencialidad:	Valor normalizado	N
				$N = \frac{IM_i - IM_{min}}{M_{max} - IM_{min}}$		
				Donde IMi representa el índice de Melton de la cuenca en particular, IMmin e IMmax son los índices de Melton mínimos y máximos entre las cuencas analizadas respectivamente. El índice de Melton se estima de la siguiente forma:		
				$IM = (H_{max} - H_{min}) \times S^{-0,5}$		
				Donde Hmax y Hmin con las cotas máximas y mínimas de las cuencas respectivamente (en kilómetros) y S es el área de cada cuenca en km2.		

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

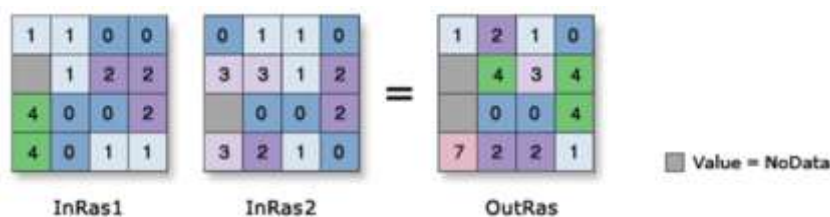
Factor	Función Sigmoidal	Umbral Superior	Umbral Inferior	Función de Normalización	Normalización Final (0-1)	
					Categoría	Valor
Precipitación	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Precipitación promedio (mm/año)	Menos de 1600	0,1
					1600-2100	0,3
					2100-2600	0,5
					2600-3200	0,8
					>3200	1

*Fuente: SAG, 2024*

Una vez normalizados y cartografiados los factores de análisis, se procedió a realizar la ponderación multicriterio a partir de la siguiente ecuación<sup>46</sup>

$$M = \sum p_i x_i$$

Donde **M** es el valor cualitativo de amenaza (entre 0 y 1), **p<sub>i</sub>** es la ponderación asignada al factor (la suma de las ponderaciones debe ser igual a 1) y **x<sub>i</sub>** es el valor del factor. El proceso de ponderación se realizó utilizando la herramienta “*Ráster Calculator*” del software ArcGIS 10.2, la cual permite ejecutar la ecuación anterior para cada pixel de los mapas normalizados (ver Figura 5-21). El resultado final es un mapa con los valores de M entre 0 y 1, donde 1 representa una amenaza alta y 0 una amenaza baja. En cuanto a la ponderación de los factores, se utilizó la recomendación hecha por el autor del artículo utilizado como soporte para la metodología utilizada<sup>47</sup>, la cual es considerar igual ponderación para los factores; en este caso, el resultado de dividir la ponderación total (valor de 1) sobre 8 factores de análisis. Por ende, la ponderación asignada a cada factor es de 0,125<sup>48</sup>. Esto se soporta básicamente en un análisis multiescenario de ponderaciones hecho por el autor y la comparación con registros de campo.



**Figura 5-21. Representación gráfica de la operación “Suma” en la herramienta “Ráster Calculator” del software ArcGIS 10.2.**

*Fuente: ArcGis Resources Center.*

Una vez obtenido el mapa final de amenaza por avenidas torrenciales con los valores de M entre 0 y 1, se procedió a clasificar este rango con el fin de dar una descripción cualitativa al riesgo.

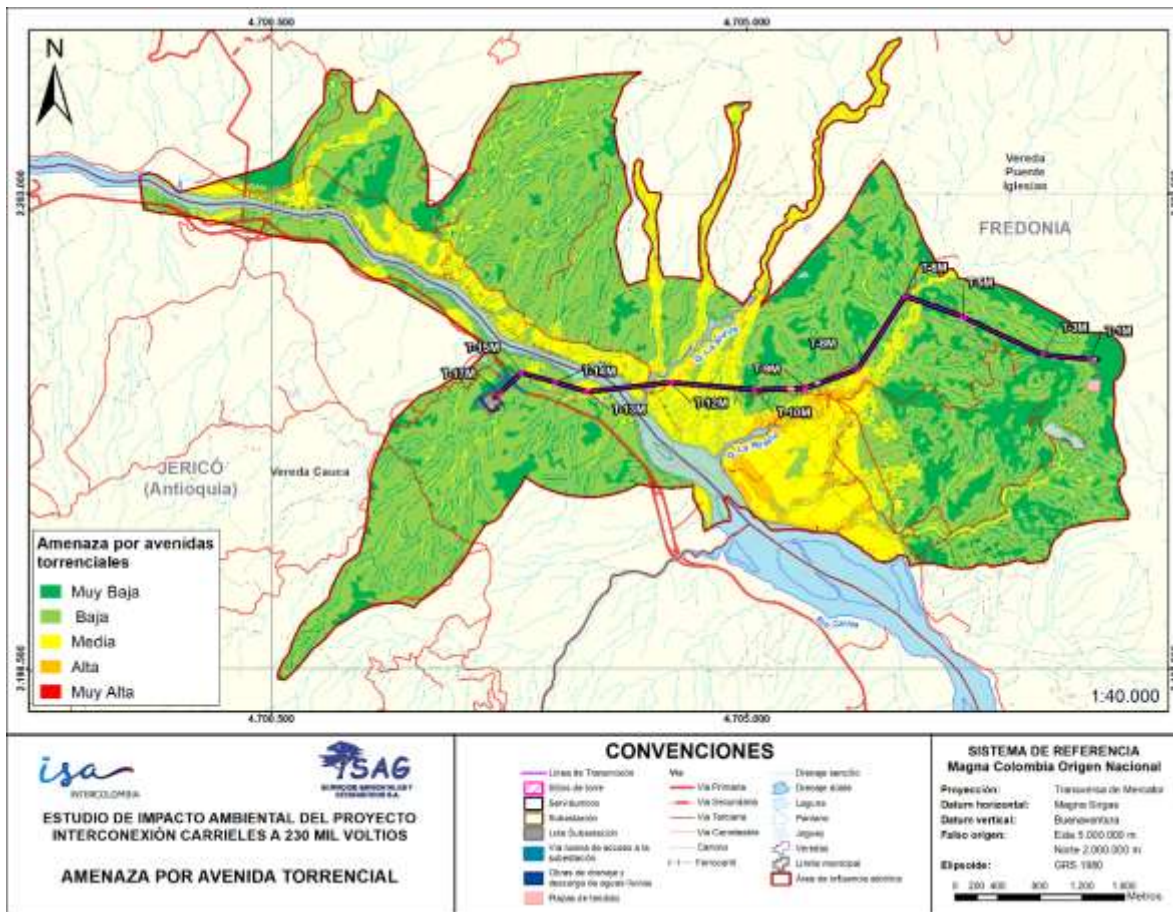
Para este caso, se observó que el mínimo valor de M es de 0,17 y el máximo es de 0,84; por ende, se asumieron los siguientes rangos: Amenaza Muy Baja para  $0 \leq M \leq 0,30$ ; Amenaza Baja para  $0,30 < M \leq 0,43$ ; Amenaza Media para  $0,43 \leq M \leq 0,57$ ; Amenaza Alta para  $0,57 \leq M \leq 0,70$  y Amenaza Muy Alta para  $0,70 < M \leq 0,84$ .

<sup>46</sup> Montoya García, M. Evaluación del riesgo por descargas eléctricas atmosféricas en espacios deportivos de la universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, FACULTAD DE INGENIERÍAS, INGENIERÍA ELÉCTRICA. 2019.

<sup>47</sup> Ibid.

<sup>48</sup> Ibid.

Los resultados del análisis de la amenaza por avenida torrencial y su distribución en el área de estudio se indican en la Figura 5-22 y la Tabla 5-29 donde se puede observar que el 0,19% del área presenta amenaza muy alta por avenida torrencial, el 3,91% en amenaza alta, el 20,21% en amenaza media, el 55,76% en amenaza baja y el 19,92% en amenaza muy baja.



**Figura 5-22. Amenaza por avenida torrencial.**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 5-29 Amenaza por avenida torrencial.**

Amenaza	Área	
	ha	%
Muy Baja	456,37	19,92%
Baja	1277,74	55,76%
Media	463,10	20,21%
Alta	89,68	3,91%

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Amenaza	Área	
	ha	%
Muy Alta	4,43	0,19%
<b>Total, general</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

## 5.1.5 Suelos y Usos del Suelo

### 5.1.5.1 Descripción de Unidades Cartográficas del Suelo (UCS)

Las Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) corresponden a la representación a escala del patrón de distribución de los suelos, a partir de sus características pedogenéticas, en un área determinada, constituyendo de esta manera el mapa de suelos. Las UCS del suelo están identificadas por un mismo símbolo y nomenclatura definida previamente<sup>49</sup>. En este sentido para el caso del Departamento de Antioquia para la identificación de las UCS se estableció, por parte de la Gobernación de Antioquia, la utilización de la nomenclatura del estudio general de suelos elaborado por el IGAC en el año 1979, donde se retoman los nombres vernáculos de los sitios geográficos del Departamento, que corresponden a la localización principal de los suelos muestreados en campo para cada unidad cartográfica de suelos<sup>50</sup>.

Asimismo, para cada UCS existen diferentes “Fases” o subdivisiones de las unidades de mapeo, con base en criterios que tienen importancia práctica para el uso y el manejo de los suelos. Sirve como mecanismo que brinda la cartografía de suelos para señalar características fundamentales, que no son inherentes de las unidades taxonómicas, con el fin de evaluar la capacidad de utilización de un suelo (pendiente, erosión, pedregosidad, salinidad, entre otras).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el área de influencia está conformada por tres (3) UCS, las cuales a su vez se conforman de ocho (8) fases cartográficas, definidas en el Estudio General de Tierras y Zonificación de suelos del departamento de Antioquia<sup>51</sup>; en donde las letras Mayúsculas son una abreviatura del nombre vernáculo existente:

TG: Asociación Tuntuna

OL: Asociación Olaya

Ga: Asociación Gemelos

Como se presenta en la Tabla 5-30 y en la Figura 5-23, la UCS con mayor representación en el área de influencia abiótica corresponde a la Asociación Tuntuna (TG) con el 48,87% (1.119,69 ha), en segundo lugar, se encuentra la Asociación Gemelos (GA) con el 34,04%

<sup>49</sup> SOIL MANAGEMENT SUPPORT SERVICES (SMSS). Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas. Monografía técnica SMSS No. 15. Editores A. van Wambeke y T. R. Forbes. Universidad de Cornell, 1985.

<sup>50</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Estudio general de Tierras y zonificación de suelos del departamento de Antioquia. 2ª impresión Nacional de Colombia, 2007.

<sup>51</sup> Ibid.

(780,06 ha) y en tercer lugar la Asociación Olaya (OL) con el 10,08% (231,0 ha). El resto del área de influencia del medio abiótico corresponde a cuerpos de agua 4,71% (107,85 ha), infraestructura (red vial y puentes) 1,60% (36,64 ha) y zonas urbanas o de asentamientos 0,70% (16,05 ha)

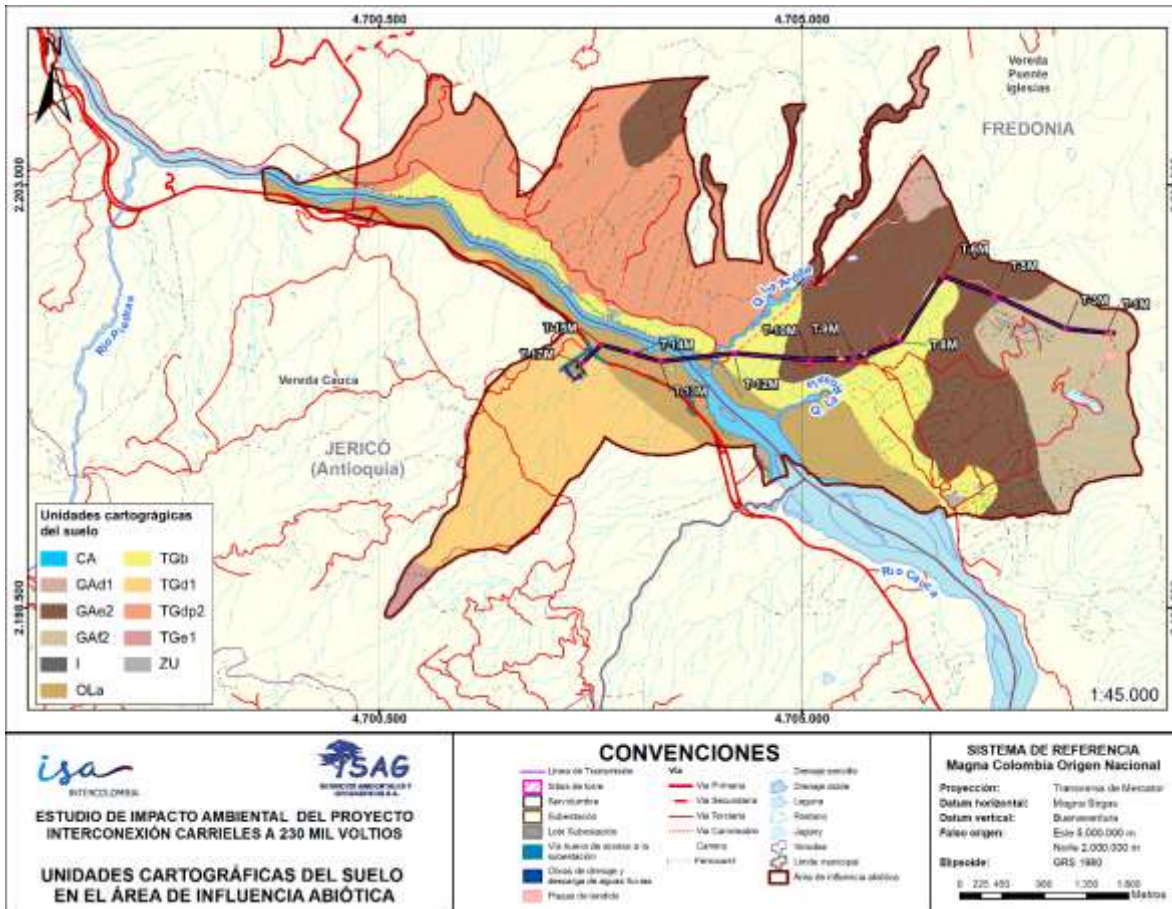
Los suelos del AI abiótica se desarrollaron a partir de dos (2) paisajes pedogenéticos, correspondientes al Piedemonte para las UCS de TG y OL en relieves de glacis, coluvios de remoción y vallecitos, y el paisaje de Montaña para la UCS de GA en el relieve de espinazos. El clima donde se desarrollaron estos suelos corresponde al cálido seco y la litología predominante se asocia a los depósitos aluviales, coluviales y rocas sedimentarias.

**Tabla 5-30. UCS presentes en el área de influencia abiótica.**

Paisaje pedogenético	Clima	Relieve	Litología	UCS	Fase UCS	Por fase UCS		Por UCS	
						Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Montaña		Espinazos	Rocas sedimentarias (areniscas, arcillolitas, conglomerados)	Asociación Gemelos: GA	GAd1	28,87	1,26	780,06	34,04
					GAe2	501,85	21,90		
					GAf2	249,34	10,88		
Piedemonte	Cálido seco	Vallecitos	Depósitos aluviales mixtos con aportes de sedimentos coluviales	Asociación Olaya: OL	OLa	231,05	10,08	231,05	10,08
		Glacis y coluvios de remoción	Depósitos aluviales y coluviales mixtos	Asociación Tuntuna: TG	TGb	284,94	12,44	1.119,69	48,87
					TGd1	312,62	13,64		
					TGdp2	509,60	22,24		
TGe1	12,52	0,55							
Zona urbana					ZU	16,05	0,70	16,05	0,70
Cuerpo de agua					CA	107,85	4,71	107,85	4,71
Infraestructura (red vial y puentes)					I	36,64	1,60	36,64	1,60
<b>Total</b>						<b>2291,33</b>	<b>100,00</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00</b>

Fuente: SAG, 2024





**Figura 5-23. UCS presentes en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2024*

A continuación, se describen las unidades cartográficas presentes en el área de influencia abiótica.

#### 5.1.5.1.1 Asociación Tuntuna (TG)

Geomorfológicamente, la unidad corresponde al paisaje de piedemonte, al tipo de relieve glacis y coluvios de remoción, en relieve ligero a fuertemente inclinado y ligeramente escarpado, con pendientes desde 3 a 50%; presentan erosión laminar ligera y moderada. Algunos sectores están afectados por pedregosidad superficial en un 20%.

Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos aluviales y coluviales mixtos, son bien drenados, texturas medias, moderadamente finas y finas, profundidad moderada a profunda.

La Asociación Tuntuna se compone de suelos Typic Haplustepts 50%, Typic Haplustolls 40% y como inclusión Typic Dystrudepts 10%.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

En área de influencia se pueden identificar las siguientes fases:

- TGb: Asociación Tuntuna, fase ligeramente inclinada.
- TGd1: Asociación Tuntuna, fase fuertemente inclinada, ligeramente erosionada.
- TGdp2: Asociación Tuntuna, fase fuertemente inclinada, moderadamente erosionada.
- TGe1: Asociación Tuntuna, fase ligeramente empinada, ligeramente erosionada.

#### 5.1.5.1.2 Asociación Olaya (OL)

Geomorfológicamente, la unidad corresponde al tipo de relieve vallecitos del paisaje de piedemonte, en relieve plano a ligeramente inclinado, con pendientes 1-7%, afectados por pedregosidad superficial muy localizada.

Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos aluviales mixtos con aportes de sedimentos coluviales, son bien drenados, texturas moderadamente gruesas, medias y moderadamente finas, superficiales a moderadamente profundos limitados por pedregosidad.

La asociación Olaya se compone de los suelos Typic Ustorthents (45%), Typic Haplustepts (45%) y misceláneo de playas en un 10%.

En área de influencia se puede identificar la siguiente fase:

- Ola: Asociación Olaya, fase ligeramente plana.

#### 5.1.5.1.3 Asociación Gemelos (GA)

Geomorfológicamente, la unidad corresponde al paisaje de montaña y tipo de relieve espinazos. Las pendientes varían de 12 a 75%, con relieve fuertemente inclinado a moderadamente escarpado. Se presenta erosión laminar ligera a severa, movimientos en masa tipo terracetas y cárcavas; en algunos sectores hay pedregosidad superficial.

Los suelos se derivan de rocas sedimentarias (areniscas, arcillolitas y conglomerados). Son bien a excesivamente drenados, superficiales limitados por pedregosidad o directamente por la roca a profundos; texturas moderadamente finas y finas; la fertilidad es alta a moderada.

La asociación está formada por los suelos Typic Haplustepts 30%, Lithic Haplustepts 25%, Lithic Ustorthents 25% y Typic Ustorthents 20%.

En área de influencia se pueden identificar las siguientes fases:

- GAd1: Asociación Gemelos, fase fuertemente ondulada, ligeramente erosionada.
- GAe2: Asociación Gemelos, fase ligeramente escarpada, moderadamente erosionada.
- GAf2: Asociación Gemelos, fase moderadamente escarpada, moderadamente erosionada.

### 5.1.5.2 Características fisicoquímicas de las UCS del área de influencia

Una vez identificadas las unidades de suelos que abarca el área de influencia abiótica del proyecto, según la información secundaria del Estudio General de Tierras y Zonificación de Suelos del departamento de Antioquia<sup>52</sup>, se procedió a realizar en campo la descripción de tres (3) perfiles. En cada punto de muestreo se realizó una calicata con dimensiones de 1m x 1m de largo y ancho, respectivamente, y la profundidad se definió en función de la profundidad efectiva del suelo. Ver ANEXO\_5\_1\_2\_SUELO.

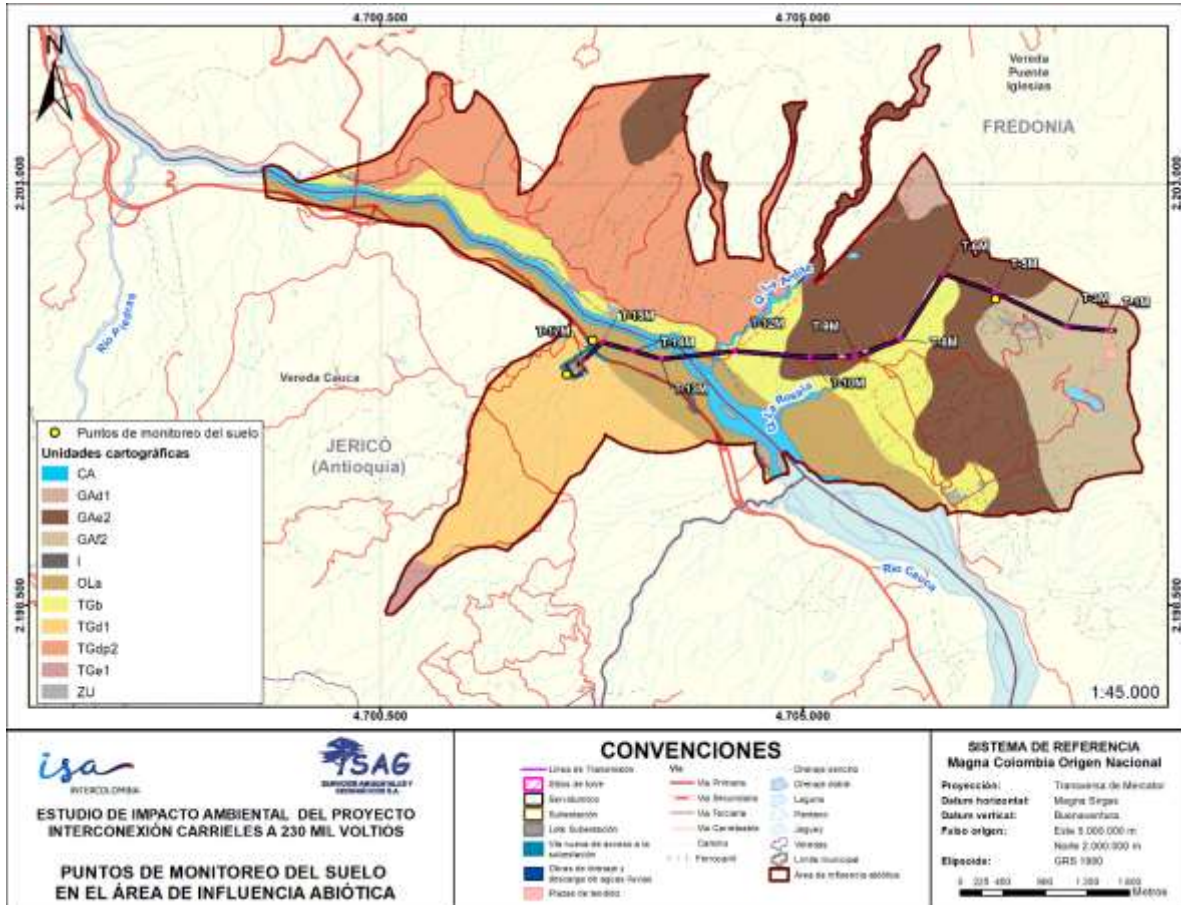
A continuación, en la Tabla 5-31, la [Figura 5-24](#) y [Figura 5-25](#) se presenta la distribución espacial de cada punto de muestreo y se evidencia el análisis de cada UCS en campo.

**Tabla 5-31. Punto muestreo suelos.**

UCS	ID Punto Muestreo	ID	Horizonte maestro	X	Y	Fecha muestreo
				Origen Único Nacional		
Asociación Olaya (OL)	P1-OL	P1-OL-1	Ap	4.702.752,92	2.201.308,35	18/03/2022
		P1-OL-2	Bw			
		P1-OL-3	BC			
		P1-OL-4	C			
Asociación Tuntuna (TG)	P2-TG	P2-TG-1	Ap	4.702.486,92	2.200.959,93	18/03/2022
		P2-TG-2	B			
Asociación Gemelos (GA)	P3-GA	P3-GA-1	A	4.707.052,80	2.201.763,71	6/03/2023
		P3-GA-2	B			

Fuente: SAG, 2024

<sup>52</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Estudio general de Tierras y zonificación de suelos del departamento de Antioquia. 2 imprenta Nacional de Colombia, 2007.



**Figura 5-24. Puntos de muestreo y vista de perfiles.**

Fuente: SAG, 2024

					
Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
4.702.752,925	2.201.308,35	4.702.486,924	2.200.959,93 4	4.707.052,801	2.201.763,713
<b>Asociación Olaya (OL)</b>		<b>Asociación Tuntuna (TG)</b>		<b>Asociación Gemelos (GA)</b>	
<p>Se localizó en la vega del río Cauca, profundo y sin limitaciones.</p> <p>Morfológicamente presenta horizontes Ap, Bw, BC y C. Se encuentra bien drenado. Profundidad efectiva de 30cm. Consistencia húmeda friable, en mojado ligeramente pegajosa y plástica en ambos horizontes. Estructura en bloques subangulares. El color del horizonte A en húmedo era café muy oscuro, del B café muy oscuro grisáceo, del BC café oliva y del C color café oscuro amarillento.</p>		<p>Se localizó en área de coluvio de piedemonte, poco profundo y limitado por fragmentos de roca.</p> <p>Morfológicamente presenta horizontes Ap, B, ambos presentan un color negro en húmedo. El horizonte superficial tiene una profundidad de 15cm y el inferior de 35cm. Se encuentra bien drenado. Profundidad efectiva de 15cm. Consistencia húmeda friable, en mojado ligeramente pegajosa y plástica en ambos horizontes. Estructura en bloques subangulares.</p>		<p>Se localizó la apertura de la calicata en la parte media de una ladera con cultivo de limón. Se evidenció la derivación de roca sedimentaria y presencia de limos y arcillas.</p> <p>La morfología del perfil es una secuencia de horizontes A-B-C. El horizonte A tiene color pardo amarillento oscuro o pardo rojizo oscuro, estructura en bloques subangulares, finos y medios, con desarrollo moderado, las texturas son moderadamente finas y tiene un espesor de 30cm. El horizonte B tiene espesor de 25 cm, color pardo oliva claro y pardo amarillento claro, estructura granular y en bloques subangulares, finos y medios, desarrollada. El horizonte C tiene texturas medias y moderadamente finas, blocosa media y color pardo amarillento oscuro o amarillo pardusco claro</p>	

**Figura 5-25. Puntos muestreo UCS.**

*Fuente: SAG, 2024*

A continuación, se describen las principales características diagnósticas de los perfiles de suelos muestreados y analizados en laboratorio para las UCS presentes en el área de influencia abiótica.

#### 5.1.5.2.1 Textura, densidad y porosidad

Los suelos del área de influencia abiótica se caracterizan por presentar principalmente texturas muy finas a finas (OL: horizonte Bw textura media), presentar densidades altas y una porosidad baja y muy baja, lo que permite concluir que son suelos compactados. Estas características generan que en temporadas de lluvias se presenten encharcamientos temporales por la dificultad de penetración del agua y las condiciones bajas pendientes del terreno. Adicionalmente, factores como la compactación del suelo limita el desarrollo radicular de algunas especies y ocasiona el aumento en la humedad de este (ver Tabla 5-32).

**Tabla 5-32. Textura, densidad y porosidad del suelo.**

UCS	Horizonte maestro	Textura		Densidad		Porosidad Total (%)	Clasificación	
				Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Real (g/cm <sup>3</sup> )			
OL	Ap	Far	Moderadamente Finas	1,57	Alta	2,49	36,95	Muy Baja
	Bw	FL	Medias	1,52	Alta	2,49	38,96	Muy Baja
	BC	Ar	Fina	1,54	Alta	2,54	39,37	Muy Baja
	C	Ar	Fina	1,46	Alta	2,52	42,06	Baja
TG	Ap	Far	Moderadamente Finas	1,45	Alta	2,38	39,08	Muy Baja
	B	Ar	Fina	1,48	Alta	2,36	37,29	Muy Baja
GA	A	FARa	Moderadamente Finas	1,59	Alta	2,72	41,54	Baja
	B	ArA	Fina	1,7	Alta	3,1	45,16	Baja
	C	FARa	Moderadamente Finas	1,73	Alta	2,98	41,95	Baja

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.2.2 pH del suelo

En términos generales, los suelos del área de influencia abiótica correspondientes a las UCS Asociación Tuntuna y Asociación Gemelos son moderadamente ácidos; la Asociación Olaya presenta neutralidad en su pH. Estas condiciones permiten el establecimiento de diferentes coberturas vegetales como pastos, arbustos y árboles de aprovechamiento maderable o frutal (ver Tabla 5-33).

**Tabla 5-33. pH del suelo.**

UCS	Horizonte maestro	Clase Textural	pH	Clasificación pH
Asociación Olaya (OL)	Ap	FAr	7,00	Neutro
	Bw	FL	6,60	Neutro
	BC	Ar	6,70	Neutro
	C	Ar	6,80	Neutro
Asociación Tuntuna (TG)	Ap	FAr	5,70	Moderadamente ácido
	B	Ar	5,90	Moderadamente ácido
Asociación Gemelos (GA)	A	FArA	5,70	Moderadamente ácido
	B	ArA	5,80	Moderadamente ácido
	C	FArA	6,40	Ligeramente ácido

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.2.3 Aluminio intercambiable

Luego del análisis de la acidez de las muestras de suelo para las tres (3) UCS del área de influencia abiótica, se determinó que el pH de los agregados superiores a 5,5 no se determina concentración de aluminio intercambiable.

#### 5.1.5.2.4 Sodio (Na) y conductividad eléctrica en el suelo

Como se observa en la Tabla 5-34, los perfiles de suelos muestreados del área de influencia abiótica no presentan problemas de salinidad.

**Tabla 5-34. Salinidad del suelo.**

UCS	Horizonte maestro	Conductividad eléctrica (dSm-1)	Na (cmolc kg -1)	Saturación Sodio o PSI (%)	Clase % PSI	RAS	Salinidad - Sodicidad
OL	Ap	0,07	0,17	0,66	Nulo	0,05	Normal
	Bw	0,05	0,15	0,59	Nulo	0,04	Normal
	BC	0,03	0,16	0,62	Nulo	0,04	Normal
	C	0,02	0,26	1,00	Nulo	0,07	Normal
TG	Ap	0,07	0,07	0,28	Nulo	0,02	Normal
	B	0,06	0,10	0,39	Nulo	0,03	Normal
GA	A	0,07	0,03	0,27	Nulo	0,01	Normal
	B	0,02	0,35	1,60	Nulo	0,11	Normal
	C	0,02	0,40	2,46	Nulo	0,14	Normal

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.2.5 Fertilidad natural de los pedones muestreados

La fertilidad natural corresponde a la cualidad que tiene un suelo para los compuestos o nutrientes apropiados, en las cantidades debidas y en el balance adecuado para el

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

crecimiento de plantas específicas cuando otros factores, tales como luz, temperatura y condiciones físicas del suelo son favorables.

En este sentido, antes de identificar la fertilidad de los suelos del área de influencia abiótica del proyecto, se determinó que los peds<sup>53</sup> muestreados corresponde a suelos normales (no salinos, ni sódicos), por presentar porcentajes de saturación de sodio <15%.

Luego de identificar lo que se expresó con anterioridad, se procedió a asignarle un “puntaje” a los valores promediados de las propiedades químicas analizadas en laboratorio de los tres (3) perfiles muestreados a dos (2) profundidades diferentes (entre 0-25cm y entre 25-50cm), correspondientes al *pH*, *el carbono orgánico (%C)*, *saturación de bases (%)*, *bases totales (me/100g)*, *Capacidad de Intercambio Catiónico a pH 7 (CIC<sub>7</sub> meq/100g)*, *Saturación por Aluminio (%)*, *Contenido de fósforo (P (ppm))* y *contenido de potasio (K (m eq/100g))*; como se observa en la Tabla 5-35.

---

<sup>53</sup> El Ped o Peds corresponde a los agregados (arena, limos y arcillas) del suelo que se presentan de forma natural en el Pedón. En este sentido, el ped es la unidad individual de la estructura de las partículas del suelo.

Pedón, corresponde al área más pequeña en la cual se describe y muestrea el suelo para representar su naturaleza, el arreglo de sus horizontes y la variabilidad de sus diferentes propiedades. Entidad básica que presenta tres dimensiones; su límite inferior es el lindero que está entre el suelo y el material subyacente considerado "no suelo".



**Tabla 5-35. Evaluación fertilidad.**

<b>F1 (0 - 25 cm)</b>						
Perfil	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje
<b>Unidad cartográfica</b>	<i>Asociación Olaya (OL)</i>		<i>Asociación Tuntuna (TG)</i>		<i>Asociación Gemelos (GA)</i>	
<b>pH</b>	6,80	<b>5</b>	5,70	<b>4</b>	5,70	<b>4</b>
<b>%C</b>	1,36	<b>3</b>	4,28	<b>5</b>	1,40	<b>3</b>
<b>Saturación bases %</b>	100,00	<b>2,5</b>	100,00	<b>2,5</b>	100,00	<b>2,5</b>
<b>Bases Totales</b>	25,71	<b>2,5</b>	25,36	<b>2,5</b>	11,02	<b>1,5</b>
<b>CIC</b>	27,05	<b>5</b>	35,46	<b>5</b>	15,98	<b>4</b>
<b>Saturación AI %</b>	0,00	<b>5</b>	0,00	<b>5</b>	0,00	<b>5</b>
<b>P</b>	5,92	<b>1</b>	5,95	<b>1</b>	4,57	<b>1</b>
<b>K</b>	0,20	<b>2</b>	0,25	<b>3</b>	0,11	<b>2</b>
<b>F2 (25 – 50 cm)</b>						
Perfil	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje	Promedio	Puntaje
<b>Unidad cartográfica</b>	<i>Asociación Olaya (OL)</i>		<i>Asociación Tuntuna (TG)</i>		<i>Asociación Gemelos (GA)</i>	
<b>pH</b>	6,75	<b>5</b>	5,90	<b>4</b>	6,10	<b>5</b>
<b>%C</b>	0,35	<b>2</b>	3,02	<b>5</b>	0,27	<b>2</b>
<b>Saturación bases %</b>	100,00	<b>2,5</b>	100,00	<b>2,5</b>	100,00	<b>2,5</b>
<b>Bases Totales</b>	25,97	<b>2,5</b>	25,46	<b>2,5</b>	19,09	<b>2,5</b>
<b>CIC</b>	24,90	<b>5</b>	31,28	<b>5</b>	24,00	<b>5</b>
<b>Saturación AI %</b>	0,00	<b>5</b>	0,00	<b>5</b>	0,00	<b>5</b>
<b>P</b>	4,12	<b>1</b>	5,18	<b>1</b>	1,58	<b>1</b>
<b>K</b>	0,14	<b>2</b>	0,16	<b>2</b>	0,12	<b>2</b>

*Fuente: SAG, 2024*

Después de la asignación de puntajes a cada parámetro químico de los suelos muestreados, se empleó la siguiente ecuación para clasificar el nivel de fertilidad conforme la Tabla 5-36.

$$FT = K (0,7F1 + 0,3F2)$$

Dónde:

- *FT: Fertilidad total*
- *F1: Fertilidad entre 0 - 25 cm de profundidad del suelo*
- *F2: Fertilidad entre 25 – 50 cm de profundidad del suelo*
- *K: 0,285 (constante)*

**Tabla 5-36. Clasificación de la fertilidad.**

<b>Clasificación de la fertilidad</b>
---------------------------------------

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

>8,4	Muy Alta
6,8-8,3	Alta
5,2 - 6,7	Media
3,6 - 5,2	Baja
<3,6	Muy Baja

Fuente: IGAC, 2016

Así pues, como resultado final se determinó que los suelos de las Asociaciones Olaya (OL) y Tuntuna (TG) presentan una fertilidad “Alta”, que permite un aprovechamiento agrícola, ganadero y agroforestal, debido a que poseen pH superior a 5,5, permitiendo la disponibilidad de nutrientes en el suelo; además, presentan un alto porcentaje de carbono orgánico, no registran saturación por aluminio y la CIC es superior a 20 mee/100g. Para la asociación Gemelos (GA), se registra una fertilidad “Media”, lo que indica que para aprovechar el recurso suelo se requiere de buenas prácticas que permitan una buena disponibilidad de P y K en los horizontes superficiales (ver Tabla 5-37).

**Tabla 5-37. Fertilidad natural de los pedones muestreados.**

F1 (0 - 25 cm)			
Calificaciones			
Unidad cartográfica	Asociación Olaya (OL)	Asociación Tuntuna (TG)	Asociación Gemelos (GA)
<b>Parámetros</b>			
pH	5	4	4
%C	3	5	3
% Saturación bases	2,5	2,5	2,5
Bases Totales	2,5	2,5	1,5
CIC	5	5	4
Saturación Al %	5	5	5
P	1	1	1
K	2	3	2
<i>F<sub>1</sub></i>	26,00	28,00	23,00
F2 (25 – 50 cm)			
Calificaciones			
Unidad cartográfica	Asociación Olaya (OL)	Asociación Tuntuna (TG)	Asociación Gemelos (GA)
<b>Parámetros</b>			
pH	5	4	5
%Carbono orgánico	2	5	2
% Saturación bases	2,5	2,5	2,5

 SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	Rev. No.: 4	2024-08-08

<b>F1 (0 - 25 cm)</b>			
<b>Calificaciones</b>			
<b>Unidad cartográfica</b>	<i>Asociación Olaya (OL)</i>	<i>Asociación Tuntuna (TG)</i>	<i>Asociación Gemelos (GA)</i>
<b>Parámetros</b>			
Totales	2,5	2,5	2,5
CIC <sub>7</sub>	5	5	5
Saturación Al <sup>3+</sup> %	5	5	5
P	1	1	1
K	2	2	2
<i>F<sub>2</sub></i>	25,00	27,00	25,00
<b>Fertilidad Total Natural</b>			
<b>FT (normal)</b>	<b>7,32</b>	<b>7,89</b>	<b>6,73</b>
<b>Fertilidad</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.5.3 Degradación de suelos

De acuerdo con el IDEAM<sup>54</sup>, la degradación de los suelos y las tierras, hace referencia a la disminución de la producción, de su calidad y de su capacidad para cumplir con las funciones y servicios ecosistémicos, por lo tanto, el diagnóstico de este proceso, de sus causas y sus consecuencias, es de vital importancia para la toma de decisiones en lo referente a la gestión sostenible de los suelos a nivel nacional e internacional.

A continuación, se realiza un análisis de la degradación de suelos por salinización, erosión y desertificación, acorde con la información contenida en las herramientas virtuales como el Catálogo de Mapas del SIAC<sup>55</sup>.

#### 5.1.5.3.1 Degradación del suelo por erosión

La Erosión es un factor fundamental en el análisis de degradación de las tierras y tiene repercusiones en las funciones del suelo, como la capacidad para amortiguar y filtrar contaminantes, el desempeño en los ciclos del agua y del nitrógeno, y su aptitud para suministrar hábitat y sustentar la diversidad biológica.

<sup>54</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). ECOSISTEMAS [SITIO WEB]. BOGOTÁ D.C; [CONSULTADO: 10 DE OCTUBRE DE 2023]. DISPONIBLE EN: [HTTP://WWW.IDEAM.GOV.CO/WEB/ECOSISTEMAS/MONITOREO-SEGUIMIENTO-ESTADO-CALIDAD-SUELOS/](http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos/)-/DOCUMENT\_LIBRARY\_DISPLAY/9MDFEMPPFXAK/VIEW/95764898#:~:TEXT=(IDEAM%2C%202019).,GRADOS%20SEVEROS%20Y%20MUY%20SEVEROS.

<sup>55</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA (SIAC). CATÁLOGO DE MAPAS (IDEAM) [SITIO WEB]. BOGOTÁ D.C; [CONSULTADO: 10 DE OCTUBRE DE 2023]. DISPONIBLE EN: [HTTP://WWW.SIAC.GOV.CO/CATALOGO-DE-MAPAS](http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Según la información contenida en el visor Geográfico del Sistema Nacional de Información Ambiental de Colombia (SIAC)<sup>56</sup>, se identifica que el 52,95% (1.213,35 ha) del área de influencia abiótica se encuentra en erosión moderada. Finalmente, el 4,71% (107,85 ha) representa cuerpos de agua y 2,30% (52,69 ha) a zonas con suelo antropizado (ver Tabla 5-38 y Figura 5-26).

En las zonas con erosión “moderada” se evidencia remoción y pérdida del espesor de los horizontes superficiales del suelo, en algunos casos con la desaparición del horizonte A y exposición de los horizontes B y C. Aparición superficial de distintos colores de suelo como producto de la pérdida de la estructura y meteorización del pedón. Ocurrencia de escorrentía superficial, surcos, terraceo y pequeñas cárcavas. Las funciones y los servicios originales de los suelos se encuentran parcialmente destruidos y se requieren prácticas de conservación y restauración inmediatas, de lo contrario pueden pasar a un grado severo.

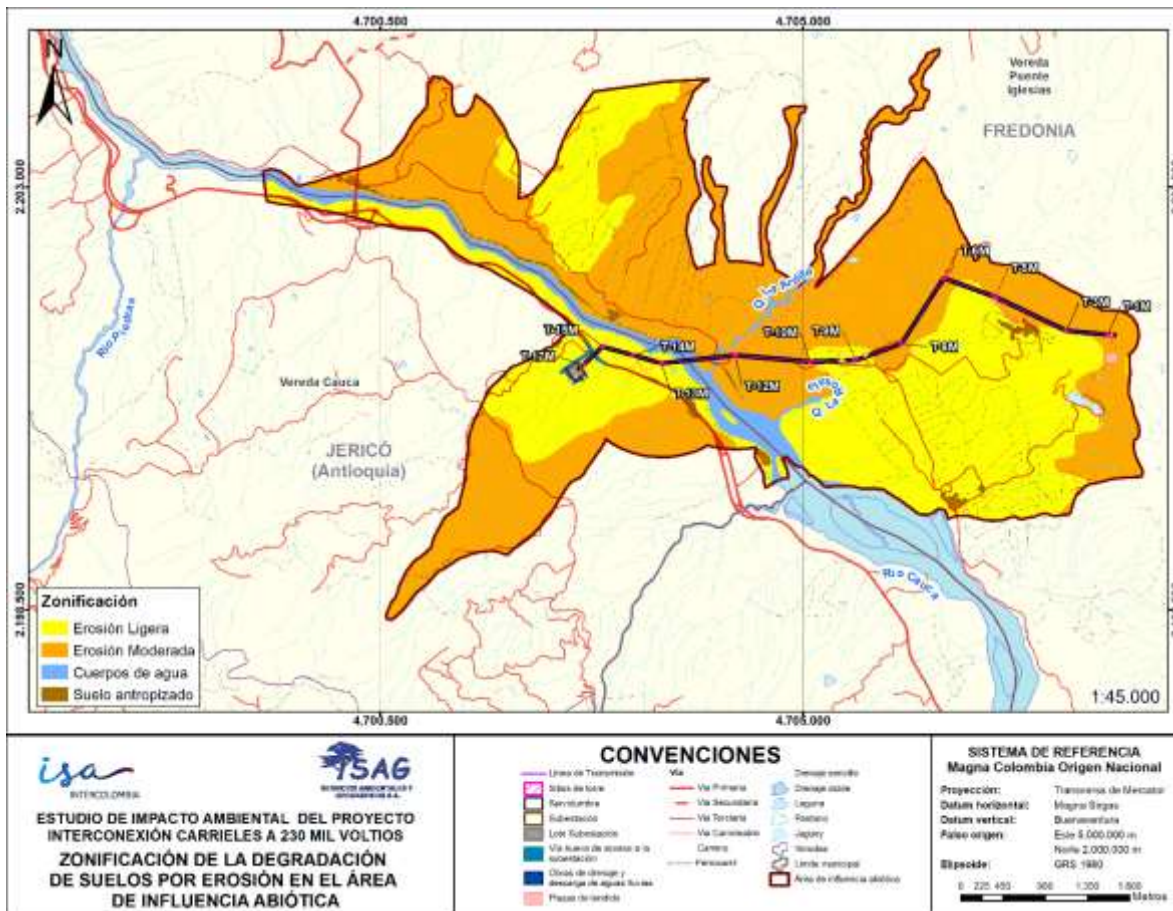
Con respecto a las zonas con erosión “ligera”, se presenta evidencia de pérdida de suelo en los horizontes superficiales del suelo, por escorrentía superficial. Ocasionalmente, la capa de suelo se adelgaza uniformemente y la pérdida de este puede llegar hasta un 25 o 50% del horizonte A, según su espesor. Las funciones y los servicios originales de los suelos comienzan a disminuir y se encuentran poco alterados. Se requiere iniciar o mantener las prácticas de conservación, restauración y manejo del recurso.

**Tabla 5-38. Zonificación de degradación del suelo por erosión en el área de influencia abiótica.**

Zonificación degradación por erosión	Tipo	Clase	Área (ha)	Área (%)
<b>Erosión Ligera</b>	<b>Hídrica</b>	Terraceo y Laminar	886,83	38,70
		Laminar	30,60	1,34
<b>Erosión Moderada</b>		Terraceo y Laminar	1.213,35	52,95
<b>Suelo antropizado</b>			52,69	2,30
<b>Cuerpos de agua</b>			107,85	4,71
<b>Total</b>			<b>2.291,33</b>	<b>100,00</b>

Fuente: SAG, 2024

<sup>56</sup> SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA (SIAC). Disponible desde internet: <<http://sig.anla.gov.co:8083/>>



**Figura 5-26. Zonificación de degradación de suelos por erosión en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.3.2 Degradación por salinización del suelo

De acuerdo con el Estudio Nacional de la Degradación de Suelos por Salinización en Colombia<sup>57</sup>, se describe que esta afectación corresponde al proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales en el perfil del suelo, es decir, el “incremento de la salinidad”. Se origina de forma natural o antrópica.

En ese sentido, cuando la salinización se origina por actividades antrópicas directas o indirectas, se considera como un proceso de degradación del suelo, ya que cambia el estado natural del recurso y con ello pueden verse alteradas sus funciones o servicios

<sup>57</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Estudio Nacional de La Degradación de Suelos por Salinización en Colombia 2019 [en línea]. Bogotá D.C. IDEAM. 2019. 188pp, ISBN: 978-958-5489-16-5. [Consultado: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023871/ESTUDIOOnal\\_sal.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023871/ESTUDIOOnal_sal.pdf)

ecosistémicos. En consecuencia, la salinidad afecta a las plantas, limita su capacidad de absorción de agua y ocasiona marchitamiento debido a que la concentración de sales solubles incrementa la presión osmótica en la solución del suelo, las plantas ceden –es decir, pierden– el agua contenida en los fluidos celulares hacia el suelo, lo que se conoce como “ósmosis reversa”. La pérdida de agua ocasiona estrés hídrico, marchitamiento y la muerte de las plantas.

De acuerdo con la zonificación de la degradación de los suelos por salinización a escala nacional<sup>58</sup>, se tiene que el 82,49% (1.890,11 ha) del área de influencia abiótica presenta degradación moderada del suelo, el 9,36% (214,37 ha) presentaría una categoría ligera de salinización y el 1,15% (26,31 ha) presenta salinización “Muy Ligera”. Finalmente, el 4,71% (107,85 ha) representa cuerpos de agua en el área de influencia y 2,30% (52,69 ha) a zonas con suelo antropizado. Ver Tabla 5-40 y Figura 5-28.

En este sentido, las zonas clasificadas en salinización muy ligera no presentan degradación en las condiciones actuales.

El caso de los suelos con un grado ligero de salinización, los contenidos de CE, PSI, pH, Ca, Mg, CaCO<sub>3</sub>, sulfatos, etc. son bajos, pero existe la posibilidad de que sin un manejo adecuado avancen a grados moderados de salinización. Las afectaciones son parciales y temporales.

Las zonas con degradación moderada por salinización se caracterizan porque los contenidos de sales ya indican limitaciones o afectaciones en las funciones y servicios ecosistémicos de los suelos. Aún son manejables pero un manejo inadecuado podría – fácilmente y en corto tiempo– inducir a aumento a grado a severo.

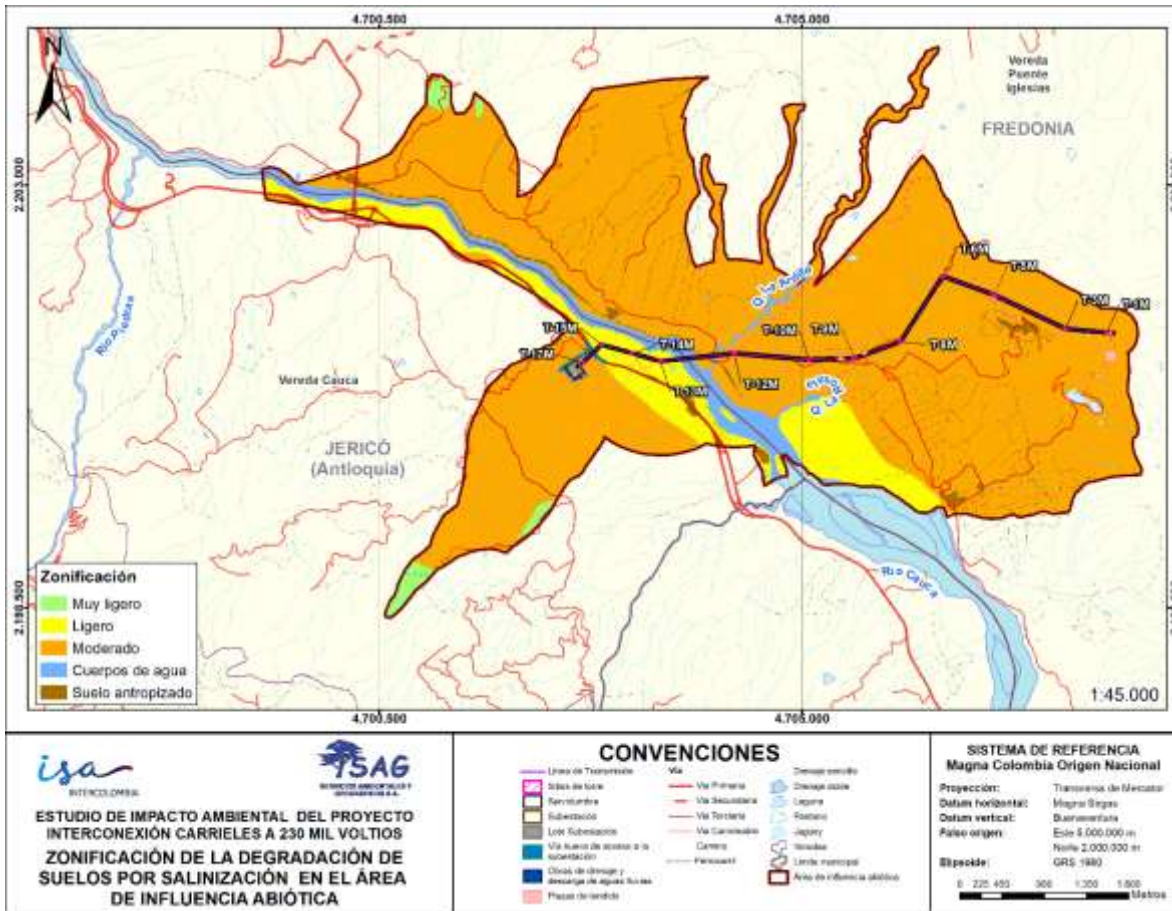
Esta zonificación contrasta con los resultados obtenidos de los muestreos para cada UCS del área de influencia abiótica, que arrojaron concentraciones de sal que no son peligrosas y que son manejables mediante prácticas adecuadas en el uso del suelo; esta diferencia se puede explicar dado que la escala de la información oficial es de 1:100.000 y los muestreos de suelo son puntuales a las áreas de intervención del proyecto.

**Tabla 5-39. Zonificación de degradación del suelo por salinización en el área de influencia abiótica.**

Zonificación degradación por salinización	Área (ha)	Área (%)
Muy ligero	26,31	1,15%
Ligero	214,37	9,36%
Moderado	1.890,11	82,49%
Suelo antropizado	52,69	2,30%
Cuerpos de agua	107,85	4,71%
<b>Total</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

<sup>58</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA (SIAC). Catálogo de Mapas (IDEAM) [sitio web]. Bogotá D.C.; [Consultado: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>



**Figura 5-27. Zonificación degradación del suelo por salinización en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.3.3 Degradación por desertificación

De acuerdo con la zonificación de la degradación de los suelos por salinización a escala nacional<sup>59</sup>, se tiene que el 51,42% (680,57 ha) del área de influencia abiótica presenta degradación media del suelo por desertificación, el 29,70% (214,37 ha) presentaría una categoría alta y el 11,87% (271,97 ha) una zonificación baja a la degradación por desertificación. Finalmente, el 4,71% (107,85 ha) representa cuerpos de agua en el área de influencia abiótica y 2,30% (52,69 ha) a zonas con suelo antropizado. Ver Tabla 5-40 y Figura 5-28.

Lo anterior se debe principalmente a la incidencia combinada de los fenómenos de erosión, salinización y condiciones climáticas del territorio, en donde la degradación baja no

<sup>59</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA (SIAC). Catálogo de Mapas (IDEAM) [sitio web]. Bogotá D.C.; [Consultado: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

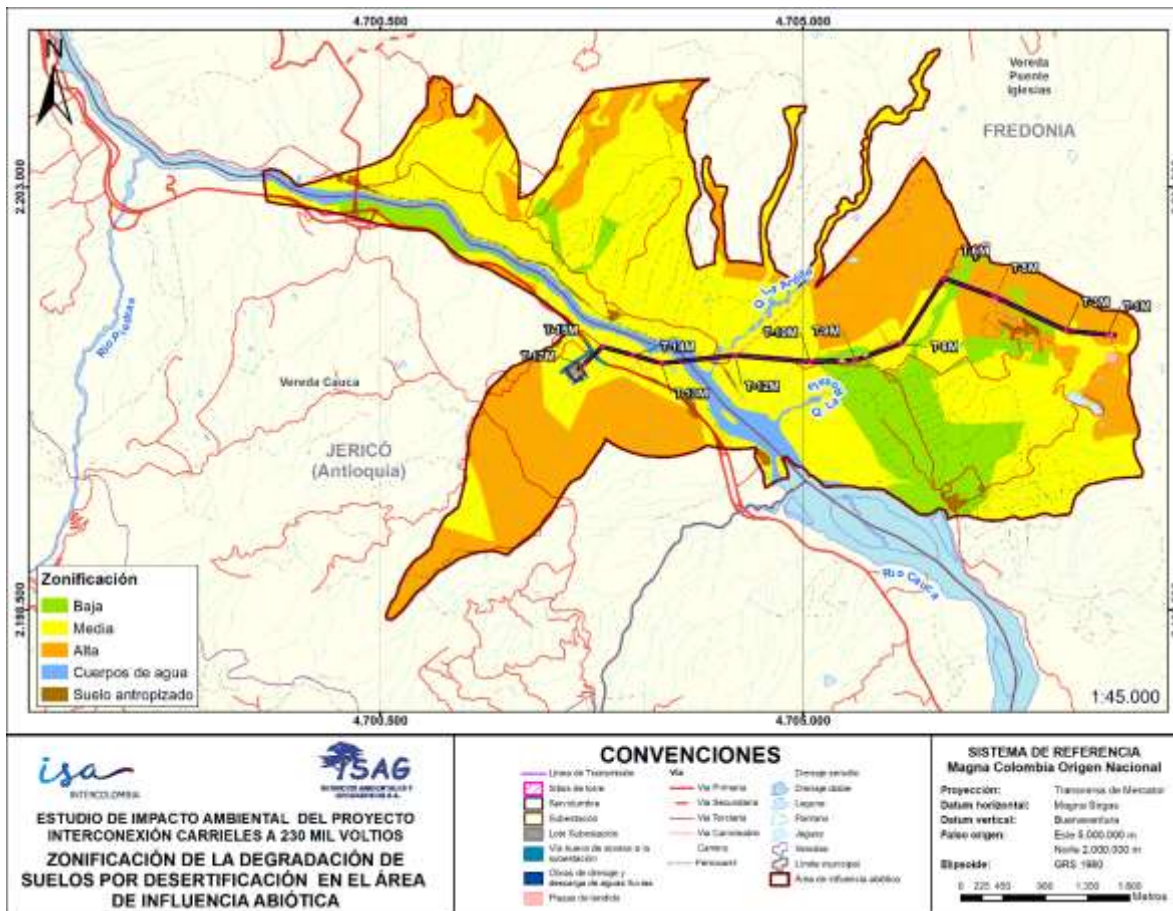
presenta una pérdida del suelo ni tampoco de sus funciones, pero siendo susceptible. Las zonas con una degradación media, indican una disminución de los servicios que presta el recurso y unas concentraciones considerables de sales; pueden recuperarse con manejos especiales y alguna inversión económica. Finalmente, las zonas con una degradación alta, se caracterizan por una pérdida del horizonte A del suelo y el B se encuentra expuesto; es un escenario de alta degradación del suelo, además, hay contenidos perjudiciales de sales, disminuyendo altamente sus funciones y servicios; su recuperación tiene costos altos.

**Tabla 5-40. Zonificación de degradación del suelo por desertificación en el área de influencia abiótica.**

Zonificación de la degradación de suelos por desertificación	Área (ha)	Área (%)
Alta	680,57	29,70%
Media	1178,25	51,42%
Baja	271,97	11,87%
Suelo antropizado	52,69	2,30%
Cuerpos de agua	107,85	4,71%
<b>Total</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*





**Figura 5-28. Zonificación de degradación del suelo por desertificación en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.4 Uso actual del suelo

Los usos actuales del suelo se determinan a partir de las coberturas de la tierra que hacen parte del área de influencia y los descrito en la Leyenda de Usos Agropecuarios del Suelo, elaborado por el Convenio 4418 IGAC-110 UPRA<sup>60</sup>.

El uso actual del suelo del área de influencia abiótica se encuentra representado de manera predominante por la ganadería de pastoreo extensivo con el 44,50% (1.019,56 ha) del área, seguido por el uso agrícola con el 31,26% (716,21 ha), el 16,31% (373,80 ha) corresponde a áreas en conservación o que no presentan un uso específico y el 0,93% (21,23 ha) asociado a sistemas forestales productores. Las demás áreas corresponden a territorios

<sup>60</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) y Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA). Leyenda de Usos Agropecuarios del Suelo – A Escalas Mayores a 1:25.000. Bogotá, 2015.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

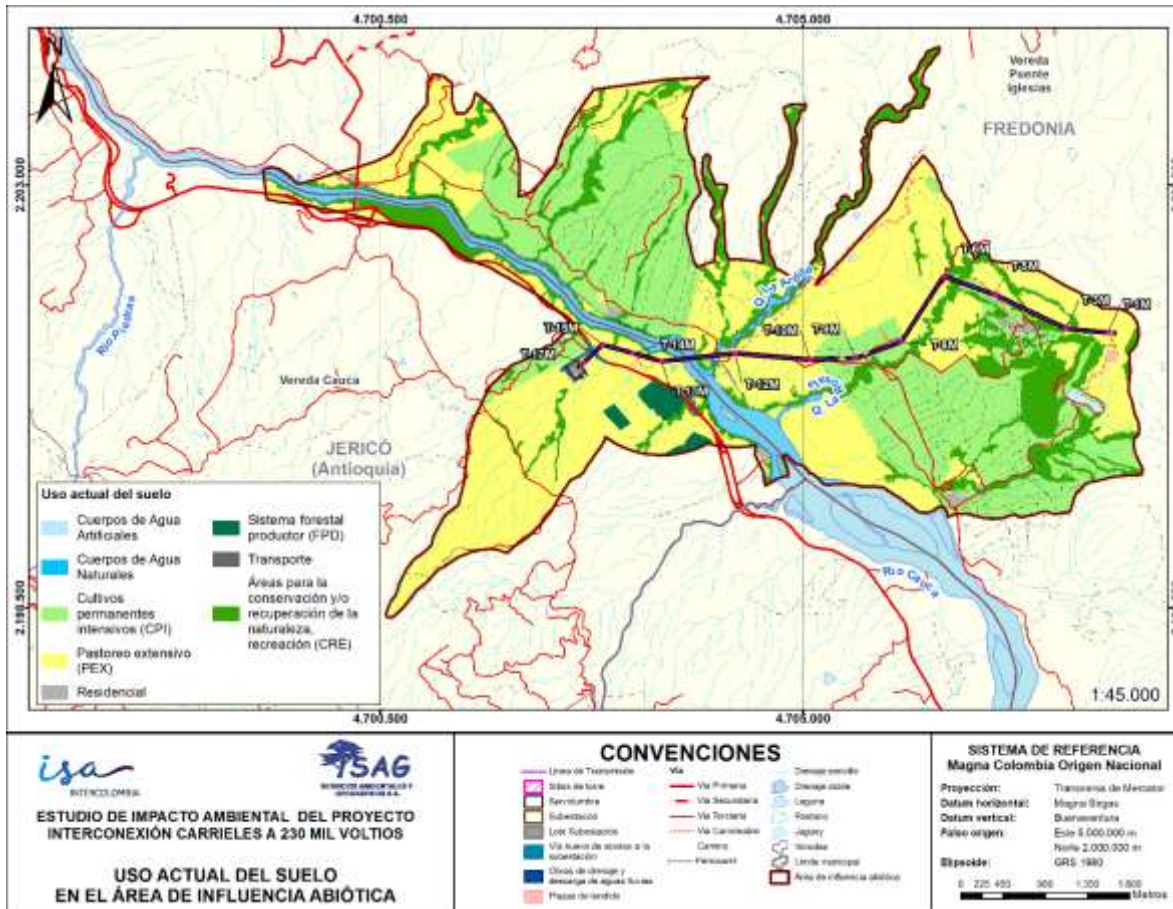
que no presentan suelo orgánico, en donde para el 4,71% (107,85 ha) del área de influencia abiótica hay cuerpos de agua, el 1,60% (36,64 ha) presenta infraestructura antrópica con infraestructura de transporte y en el 0,70% (16,05 ha) se identifican asentamientos residenciales (ver Tabla 5-41 y [Figura 5-29](#)).

**Tabla 5-41. Distribución de los usos actuales del suelo en el área de influencia abiótica.**

Uso Actual	Tipo de Uso Actual	Área por tipo de uso actual	
		(ha)	(%)
Agricultura	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	716,21	31,26%
Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	1.019,56	44,50%
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	373,80	16,31%
Forestal	Sistema forestal productor (FPD)	21,23	0,93%
	Cuerpos de Agua Naturales*	107,61	4,70%
	Cuerpos de Agua Artificiales*	0,24	0,01%
Infraestructura*	Transporte*	36,64	1,60%
Asentamiento*	Residencial*	16,05	0,70%
<b>Total</b>		<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

\*Áreas que no constituyen suelo orgánico

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-29. Uso actual del suelo en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

A continuación, se describen las características generales que permitieron clasificar los usos actuales del suelo.

- Uso Ganadería (Pastoreo extensivo (PEX))

Los usos de pastoreo extensivo se asocian a las coberturas de la Tierra de Pastos enmalezados, limpios y arbolados (ver Fotografía 5-12 y Fotografía 5-13). En la vereda Cauca y en la Vereda Puente Iglesias existen fincas cuya actividad económica se enmarca en la ganadería.



**Fotografía 5-12. Ganadería.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Fotografía 5-13. Ganadería.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Uso Agrícola (Cultivos permanentes intensivos (CPI))

Las coberturas de la Tierra asociadas al uso agrícola corresponden a los Cultivos permanentes y transitorios; en el área de influencia se identifican cultivos de cítricos frutales y en algunas zonas con pendientes pronunciadas cultivos de café (ver Fotografía 5-14).



**Fotografía 5-14. Cultivo de limón.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Fotografía 5-15. Cultivo de limón.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Uso Forestal (Sistema forestal productor (FPD))

Los usos forestales tanto protectores como productores se clasifican de acuerdo con las coberturas de la Tierra a Plantación forestales (Plantación de latifoliadas). Ver Fotografía 5-16.



**Fotografía 5-16. Cobertura de plantación forestal**

*Fuente: SAG, 2024*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

- Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)

Los usos de conservación identificados en el área de influencia abiótica se asocian a las coberturas de la Tierra identificadas como Vegetación secundaria o en transición, Bosque fragmentado, bosque de galería y/o ripario, las Tierras desnudas y degradadas, las Zonas arenosas naturales y las Zonas pantanosas. Ver Fotografía 5-17



**Fotografía 5-17. Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), retiros de cuerpos de agua.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Otros usos no agrícolas del suelo
  - Cuerpos de Agua Naturales

Los cuerpos de agua del área de influencia abiótica corresponden a las zonas donde se ubican Lagunas, lagos, ciénagas naturales y el río Cauca.

- Residencial

Corresponde a los terrenos donde se identifica Tejido urbano discontinuo (viviendas de fincas, construcciones dedicadas al servicio de hospedaje y construcciones).

- Transporte

Corresponde a las zonas de la Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.

### 5.1.5.5 Capacidad de uso del suelo

Según el IGAC<sup>61</sup>, las tierras se clasifican por su capacidad de uso, principalmente con base en sus limitaciones permanentes y para ello se tiene en cuenta el número y el grado de las mismas.

La clasificación por capacidad de uso es de carácter interpretativo y se fundamenta en los efectos combinados del clima ambiental y las características permanentes de los suelos, sobre los riesgos de deterioro, las limitaciones en su uso, la capacidad de producción y los requerimientos de manejo del suelo; es entonces que se constituye inicialmente la clasificación agrológica.

De esta manera, a partir de la clasificación de las clases agrológicas se puede determinar el uso potencial o vocación de los suelos.

#### 5.1.5.5.1 Clasificación agrológica de los suelos en el área de influencia

La Clasificación agrológica o clase de capacidad, agrupa suelos que presentan el mismo grado relativo de limitaciones generales y de riesgos.

En la Tabla 5-42 y Figura 5-30 se observa que la clase agrológica predominante corresponde a Clase 4 con un 59,63% (1.366,31 ha), seguida de la Clase agrológica 6 con un 22,48% (515,14 ha) y finalmente la Clase agrológica 7 con el 10,88 % (249,34 ha) del área de influencia.

**Tabla 5-42. Distribución de las clases agrológicas en el área de influencia abiótica.**

Clase agrológica	Grupo de manejo clase agrológica	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Clase 4	4c-1	259,55	11,33%	1.366,31	59,63%
	4p-3	32,27	1,41%		
	4pc-1	315,13	13,75%		
	4pe-3	0,73	0,03%		
	4pesc-1	495,95	21,64%		
	4sc-1	262,68	11,46%		
Clase 6	6p-1	12,59	0,55%	515,14	22,48%
	6pe-3	502,54	21,93%		
Clase 7	7p-3	249,34	10,88%	249,34	10,88%
Cuerpos de Agua	No aplica	160,54	7,01%	160,54	7,01%
<b>Total</b>		<b>2.291,33</b>	<b>100,00</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

<sup>61</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Metodología para la Clasificación de las Tierras por su capacidad de uso (Grupo interno de trabajo levantamiento de suelos). Cód. M40100-02/14 V2. Bogotá, 2014.



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

A continuación, se describen las generalidades de clases agrológicas del suelo para el área de influencia abiótica, según las recomendaciones establecidas en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Antioquia.

- Clase 4

Esta clase agrológica representa el 59,63% del área de influencia abiótica. En general, las tierras de esta clase se encuentran localizadas en clima cálido seco, cálido húmedo, cálido húmedo a seco, cálido muy húmedo, cálido húmedo a muy húmedo, templado muy húmedo, templado húmedo a muy húmedo, frío húmedo, frío muy húmedo y frío húmedo a muy húmedo, en relieve ligera a fuertemente ondulado, con pendientes inferiores al 25%. Los suelos son muy profundos a muy superficiales y muy fuertemente ácidos a neutros.

Tienen limitaciones severas que la restringen a cultivos específicos y exigen prácticas cuidadosas de manejo y conservación difíciles de aplicar y mantener. Se pueden utilizar en ganadería con pastos de buenos rendimientos y con un manejo técnico de los potreros. La agroforestería es una buena opción en los sectores de pendientes más pronunciadas, áreas erodadas y susceptibles al deterioro.

- Subclase 4c-1: Esta subclase tiene una o más limitaciones moderadamente severas causadas por lluvias escasas y mal distribuidas. En menor grado de intensidad presenta limitaciones por bajos contenidos de fósforo y materia orgánica. Algunos suelos tienen limitaciones por Pedregosidad superficial.

Debido a las limitaciones de clima por las precipitaciones deficientes en los dos semestres del año, estas tierras, en las condiciones actuales, son aptas para cultivos poco exigentes en humedad, y ganadería extensiva; requieren prácticas tendientes al manejo adecuado de los pastizales como evitar el sobrepastoreo y la sobrecarga de ganado principalmente. En los sectores con presencia de pedregosidad superficial, si es factible, se deben recoger las piedras y amontonarlas en los linderos de los predios. Las zonas planas que tienen la mejor aptitud se pueden dedicar a la agricultura con cultivos como caña de azúcar, plátano, yuca, maíz, cítricos y frutales; es conveniente la aplicación de riego y de fertilizantes y adición de abonos orgánicos.

- Subclase 4p-3: Las principales limitantes de los suelos de esta subclase de tierras se deben a las pendientes moderadamente inclinadas, a la susceptibilidad a la erosión, y a las lluvias escasas y mal distribuidas en algunos sectores; en adición, tienen bajo contenido de fósforo y de materia orgánica.

La capacidad de uso de estas tierras es para ganadería con pastos introducidos o nativos con buenas prácticas de manejo como evitar el sobrepastoreo y la sobrecarga de ganado. Para agricultura presenta limitaciones por las pendientes inclinadas que ameritan prácticas de conservación de suelos tales como localización de cultivos, siembras en contorno o a través de las pendientes, fertilización y adición de materia orgánica. Se pueden sembrar cultivos semilimpios, densos, de semibosque o sistemas agroforestales.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

- Subclase 4pc-1: Las principales limitantes de esta unidad de tierra son las lluvias escasas y mal distribuidas, el relieve fuertemente ondulado, las pendientes fuertemente inclinadas, la susceptibilidad a la erosión y los movimientos en masa (pata de vaca y terracetos); en grado de menor intensidad tienen bajo contenido de fósforo y de materia orgánica.

Las tierras son aptas para ganadería y agricultura con cultivos poco exigentes en humedad semilimpios, densos, de semibosque, sistemas agroforestales y plantaciones forestales. Para ello se requiere de prácticas adecuadas de manejo como fertilización, teniendo en cuenta la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y el requerimiento nutricional de las plantas, la naturaleza o tipo del fertilizante, la interacción del fertilizante con el suelo, la época de aplicación, el sistema y costo de aplicación. Además, se requiere la construcción de acequias de ladera, siembras en contorno, en fajas, a través de la pendiente y un adecuado manejo de pastos y ganado evitando el sobrepastoreo y la sobrecarga.


- Subclase 4pe-3: Las principales limitantes de los suelos de esta unidad son las lluvias deficientes y mal distribuidas, las pendientes fuertemente inclinadas y la alta susceptibilidad a la erosión; además tienen bajos contenidos de fósforo y materia orgánica.

Estas tierras tienen aptitud para algunos cultivos semilimpios, semidensos, de semibosque, sistemas de producción agroforestales y plantaciones forestales protectoras productoras, y para ganadería. Para dedicar estas tierras a actividades agropecuarias o forestales se requiere aplicar prácticas de conservación como: rotación de cultivos, sembrar en fajas, en contorno o a través de la pendiente, uso de abonos químicos, aplicación de abonos orgánicos, incorporación de residuos de cosecha, construcción de acequias de ladera y manejo adecuado de los pastizales y el ganado que incluye prácticas de rotación de potreros, evitar la sobrecarga y sobrepastoreo.

- Subclase 4pesc-1: Esta subclase tiene una o más limitaciones moderadamente severas por pendientes fuertemente inclinadas, erosión moderada, Pedregosidad superficial y lluvias escasas mal distribuidas. En menor grado de intensidad presenta limitaciones por bajos contenidos de fósforo y materia orgánica.

Dadas las limitaciones de clima por las precipitaciones deficientes en los dos semestres del año, las pendientes inclinadas, la Pedregosidad y la erosión presente, en condiciones actuales, estas tierras son aptas para ganadería con uso de prácticas tendientes al manejo adecuado de los pastizales como evitar el sobrepastoreo y la sobrecarga con ganado principalmente; y para agricultura con algunos cultivos poco exigentes en humedad en las zonas de menor pendiente, es conveniente la aplicación de riego, fertilizantes y abonos orgánicos. Estas tierras también son aptas para sistemas silvopastoriles y plantaciones forestales.

Las zonas afectadas por erosión es mejor dejarlas en descanso por algún tiempo. En los sectores con presencia de pedregosidad superficial, si es factible, se deben recoger las piedras y amontonarlas en los linderos de los predios.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

- Subclase 4sc-1: Los suelos de esta unidad de tierras tienen limitaciones moderadamente severas por las lluvias deficientes mal distribuidas y la Pedregosidad superficial; en menor grado de severidad presentan bajo contenido de fósforo y de materia orgánica.

Estas tierras tienen aptitud para cultivos limpios, densos y de semibosque, para incrementar la fertilidad es necesario implementar programas de fertilización de acuerdo con la disponibilidad de nutrientes en el suelo (análisis químicos del suelo) y el requerimiento de los cultivos; en lo posible, si se cuenta con agua disponible se recomienda aplicación de riego. También son aptas para ganadería con pastos introducidos evitando el sobrepastoreo y la sobrecarga con ganado.

- Clase 6

Esta clase de tierras representa el 22,48% del área de influencia abiótica; se encuentra en una amplia gama de climas, paisajes, tipos de relieve y materiales. Ocupa sectores de espinazos, filas-vigas, glacis del paisaje de montaña; lomas y colinas y vallecitos del paisaje de lomerío y de altiplanicie; planos de inundación, plataformas costeras y terrazas de las planicies aluviales, fluvioacustres y marinas. Se presentan en los pisos térmicos cálido, templado, frío y muy frío, con condiciones de humedad muy húmeda, húmeda, seca y transiciones de seca a húmedo y de húmeda a muy húmeda.

Los materiales parentales son muy variados: rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas, aluviones, coluvios, materiales orgánicos y cenizas volcánicas que han originado suelos que difieren en sus características físicas, químicas, mineralógicas y biológicas, los hay superficiales hasta profundos, pobre a bien drenados, de texturas muy finas a gruesas, de reacción muy fuertemente ácida a ligeramente alcalina y fertilidad muy baja a alta. El relieve es plano a fuertemente escarpado. Presentan diferentes grados de erosión desde ligero hasta muy severo. Los movimientos en masa (pata de vaca y terracetos) van de pocos a muchos. En algunos sectores presentan pedregosidad superficial.

Presentan limitaciones muy severas y que, en términos generales, las hacen aptas únicamente para algunos cultivos semiperennes o perennes, semidensos y densos; también se pueden desarrollar sistemas agroforestales y forestales.

La ganadería extensiva es un uso alternativo si se lleva a efecto evitando el sobre pastoreo y con buen manejo de los potreros.

- Subclase 6p-1: Las principales limitantes de esta unidad de tierra son las lluvias escasas y mal distribuidas, las pendientes ligeramente escarpadas, la susceptibilidad a la erosión y los movimientos en masa (pata de vaca y terracetos), en grado de menor intensidad tienen bajo contenido de fósforo y de materia orgánica.

Estas tierras son aptas para ganadería, para sistemas agroforestales y plantaciones forestales con especies poco exigentes en humedad. Para un buen uso se deben desarrollar actividades intensas de manejo y conservación de suelos como son: preservar y proteger la vegetación natural existente, reforestar con especies nativas o exóticas. Por otra parte, se deben implementar medidas de manejo y control de

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

las aguas de escorrentía, fertilización y manejo de pastos y ganado evitando el sobrepastoreo y la sobrecarga con ganado.

- Subclase 6pe-3: Las principales limitantes se deben a las pendientes ligeramente escarpadas, la susceptibilidad a la erosión, la erosión presente moderada y las lluvias escasas y mal distribuidas en algunos sectores; en adición tienen bajo contenido de fósforo y de materia orgánica.

La mejor aptitud de estas tierras es para bosques protectores productores o para revegetalización espontánea o dirigida; como desde el punto de vista económico y social es difícil de aplicar, se las puede dedicar a ganadería con pastos introducidos o nativos con buenas condiciones de manejo como evitar el sobrepastoreo y la sobrecarga con ganado, y sistemas silvopastoriles. Para agricultura presenta limitaciones severas por las pendientes escarpadas y por las lluvias escasas en algunos sectores, lo que amerita prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos tales como localización de cultivos, siembras en contorno o a través de las pendientes, fertilización y adición de materia orgánica, lo cual económicamente es poco factible.

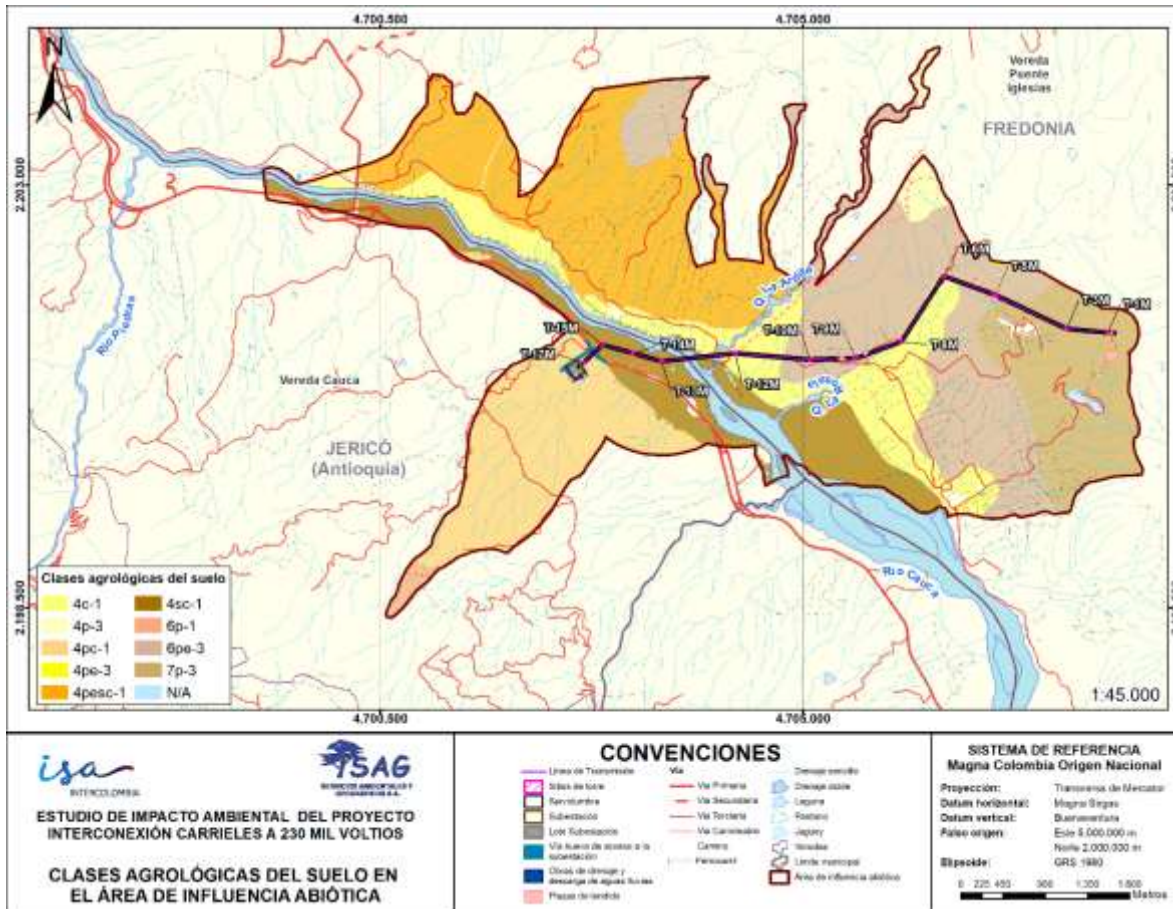
- Clase 7:

Esta clase agrológica en el área de influencia abiótica representa el 10,88%. Las tierras de esta clase se encuentran localizadas en los climas cálido seco, cálido húmedo, cálido húmedo a seco, cálido muy húmedo, cálido húmedo a muy húmedo, templado húmedo a muy húmedo, frío húmedo, frío muy húmedo, frío húmedo a muy húmedo y muy frío muy húmedo.

Esta clase de tierras ocupa las posiciones geomorfológicas de vallecitos, filavigas y espinazos del paisaje de montaña; lomas y colinas de los paisajes de lomerío y altiplanicie y terrazas de la altiplanicie. El relieve varía de plano a moderadamente escarpado, con pendientes que varían de 7 a 75%.

- Subclase 7p-3: Los suelos de esta subclase tienen limitaciones muy severas por pendientes moderadamente escarpadas y alta susceptibilidad a la erosión; en menor grado de intensidad, presentan erosión actual ligera a moderada, acidez fuerte y alta saturación de aluminio.

Estas tierras son aptas para plantaciones forestales, sistemas silvopastoriles con pastos introducidos con buen manejo de los pastizales, utilizando prácticas como evitar la sobrecarga con ganado y el sobrepastoreo.



**Figura 5-30. Clases agrológicas del suelo en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.5.5.2 Uso potencial de los suelos en el área de influencia

El uso potencial o vocación del suelo se define como el resultado obtenido al confrontar las cualidades agronómicas y ambientales de las tierras, con los requerimientos de uso, a fin de determinar el uso más apropiado y sostenible de una unidad de tierra, con el menor riesgo de deterioro. Este resultado es modificado por los componentes socioculturales y económicos que se manifiestan en un área determinada.

Con base en la información del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Antioquia, realizado por el IGAC en el año 2007, la distribución de pendientes en el área de influencia abiótica y las clases agrológicas, se identificó, la capacidad o vocación de uso de los suelos en dicha área de influencia.

En la [Tabla 5-43](#) se presenta la distribución de los usos potenciales del suelo en el área de influencia abiótica.

**Tabla 5-43. Distribución de los usos potenciales del suelo en el área de influencia abiótica.**

Uso	Uso principal potencial	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	840,23	36,67%	840,23	36,67%
Agrícola	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	6,55	0,29%	237,69	10,37%
	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	231,15	10,09%		
Forestal	Sistema Forestal Producción-protección (FPP)	137,12	5,98%	763,44	33,32%
	Sistema forestal productor (FPD)	523,37	22,84%		
	Sistemas forestales protectores (FPR)	102,95	4,49%		
Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	22,10	0,96%	22,10	0,96%
Agroforestal	Sistemas agrosilvícolas (AGS)	139,53	6,09%	267,33	11,67%
	Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	44,21	1,93%		
	Sistemas silvopastoriles (SPA)	83,58	3,65%		
Asentamientos	Transporte	36,64	1,60%	52,69	2,30%
	Residencial	16,05	0,70%		
Cuerpos de agua		107,85	4,71%	107,85	4,71%
<b>Total</b>		<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

A continuación, se describen detalladamente las diferentes vocaciones de uso del suelo identificadas en el área de influencia.

- Uso Agrícola
  - Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS): tierras onduladas a quebradas con pendientes hasta del 50%. Son suelos superficiales, de fertilidad baja a muy baja. Necesitan prácticas manuales de preparación, sin dejarlos desprovistos de una cobertura vegetal protectora, excepto por períodos breves; las prácticas de conservación de suelos y aguas deben ser intensas.
  - Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS): tierras con pendientes hasta del 25% en algunas zonas hasta 50%, con limitaciones ligeras a moderadas por la inadecuada distribución de las lluvias. Sin restricciones para el establecimiento de cultivos de mayor permanencia, pastos y bosques. Requieren prácticas ligeras a moderadas de

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

conservación de suelos y aguas: siembra en contorno, acequias de escorrentía, riego suplementario y las mencionadas en la clase anterior.

- **Uso Agroforestal**
  - **Sistemas agrosilvícolas (AGS):** las tierras calificadas para este uso principal comparten la gran mayoría de características con la unidad de cultivos permanentes semiintensivos (CPS), pero varían en la inclinación de la pendiente la que puede llegar hasta el 75% en los paisajes de montaña y lomerío, siempre y cuando los suelos sean moderadamente profundos a profundos.
  - **Sistemas agrosilvopastoriles (ASP):** las tierras con este uso principal se localizan en gran parte de los paisajes presentes en el departamento de Antioquia en climas cálidos húmedos a muy húmedos, y en algunos sectores en climas templados a fríos húmedos, sobre relieves que varían desde planos hasta fuertemente quebrados o ligeramente escarpados con pendientes no superiores al 50%.
  - **Sistemas silvopastoriles (SPA):** los suelos se han desarrollado a partir de areniscas, granitos y Neiss y se caracterizan por presentar una profundidad efectiva que va de superficial a moderada, drenaje excesivo y fertilidad baja a media. Los factores que más influyeron en la definición de este tipo de uso fueron el clima, las pendientes, y el grado de erosión moderada que se presenta en esta unidad, el cual es uno de las principales limitantes para el uso de tierras.

Teniendo en cuenta las características biofísicas anteriormente expresadas, esta unidad requiere la combinación armonizada del uso forestal y el pastoreo; el sistema debe estar integrado por árboles (productores de alimento, madera o forraje) con pasturas; no requiere preparación de suelos, ni deja el área desprovista de cobertura vegetal, permitiendo el pastoreo permanente del ganado dentro del bosque. Como ejemplos se tienen los pastos con nogal cafetero y pastos con árboles frutales, como guayaba, marañón y cítricos.

- **Uso Forestal**
  - **Sistema forestal productor (FPD) - Forestal de producción de clima cálido:** tierras de relieve plano ha quebrado, con pendientes superiores al 50%. Las restricciones son excesiva precipitación, alta humedad relativa y erosión en grado ligero a moderado. Requieren normas estrictas de aprovechamiento para mantener el equilibrio ecológico y la sostenibilidad del bosque, control de incendios y selección de especies.
  - **Sistemas forestales protectores (FPR):** tierras muy frágiles de relieve moderado a fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%; los suelos tienen muy baja profundidad efectiva, muy baja fertilidad, presencia de afloramientos rocosos o pedregosidad superficial y procesos de erosión activa, ligeros a severos. Se requiere permanente con vegetación natural o plantaciones forestales, aprovechando la producción de frutos o productos secundarios del bosque, sin que esto desaparezca temporal ni definitivamente.

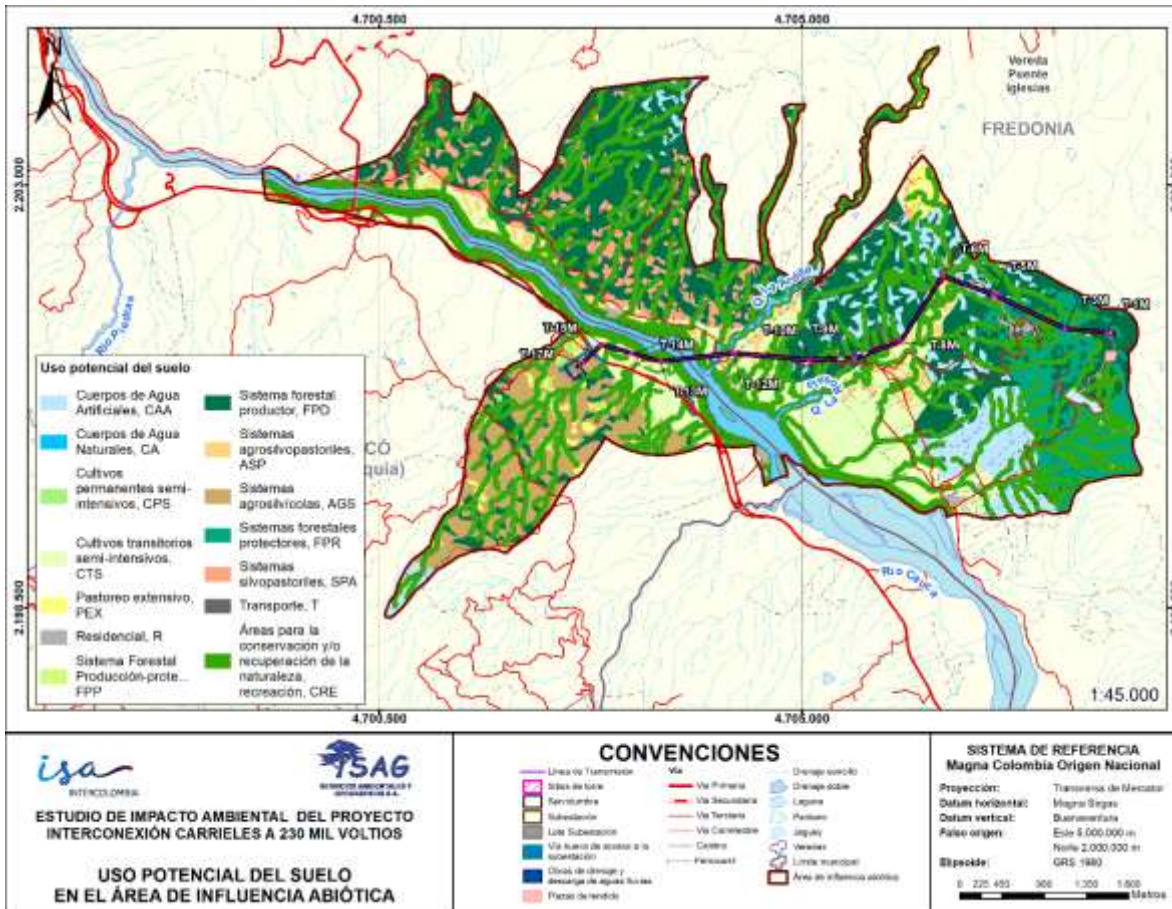
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

- Sistema Forestal Producción-protección (FPP): en estas áreas el efecto protector del bosque, bien sea natural o plantado, debe prevalecer en beneficio de los demás recursos naturales. Algunos sectores pueden ser objeto de aprovechamientos y actividades de producción del bosque en forma selectiva; no se requiere la remoción continua y frecuente del suelo, aunque en los casos de producción lo deje desprovisto de árboles en áreas pequeñas y por períodos relativamente cortos; la vegetación remanente, crea un efecto protector, como por ejemplo las plantaciones heterogéneas de árboles nativos o exóticos, con diferentes ciclos de crecimiento, demanda y valor comercial.

Lo anterior condiciona que los aprovechamientos deben tener presente las medidas de conservación respectivas, pues los ecosistemas son más susceptibles al desequilibrio ecológico que en las áreas forestales productoras.

- Uso conservación
- Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE): esta vocación de uso se ubica en áreas con estructuras propensas a sufrir erosión por las condiciones naturales del ambiente. la unidad se distribuye en los pisos térmicos desde el frío hasta el cálido, y en las provincias árida, muy seca y seca; los suelos son, en términos generales, de baja a muy baja evolución, muy superficiales, bien a excesivamente drenados, y se localizan en relieves fuertemente quebrados a escarpados, también se presentan en zonas planas asociadas a la acumulación de materiales fluviales. Se incluye también áreas que no poseen suelo. En estas tierras requieren de medidas que propicien la regeneración natural espontánea de vegetación debido a que son lugares que se ven afectados por las condiciones naturales.





**Figura 5-31. Distribución de los usos potenciales en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.5.6 Conflicto en el uso del suelo

El conflicto de uso se realizó siguiendo la metodología definida por IGAC y CORPOICA, 2002<sup>62</sup> en Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia, la cual clasifica los conflictos de uso en: tierras sin conflicto de uso o uso adecuado, conflicto por subutilización ligera, conflicto por subutilización moderada, conflicto por subutilización severa, conflicto por sobreutilización ligera, conflicto por sobreutilización moderada y conflicto por sobreutilización severa y que se obtiene luego de cruzar las áreas de uso actual con los polígono de uso potencial (vocación de uso) definidos y la utilización de la matriz de decisión que se puede observar en la Figura 5-32. Cabe señalar que la determinación de conflictos por uso del suelo se realiza desde una perspectiva agrologica, donde se comparan **espacialmente** los usos actuales del suelo con los usos potenciales o vocaciones

<sup>62</sup> GARZÓN, E. M.; BOTÓN, J. S.; SIACHOQUE, R. Capítulo IV: Uso Adecuado y Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia. En: IGAC & CORPOICA. Zonificación de los conflictos de usos de las tierras en Colombia. Bogotá: IGAC, 2002. p. 106.

recomendadas para los territorios estudiados, por lo tanto, en este análisis no entran factores diferentes o externos a las capacidades de uso del suelo.

VOCACIÓN		U S O   A C T U A L												
		A G R I C O L A				A G R O F O R E S T A L		G A N A D E R A		F O R E S T A L		C O N S E R V A C I Ó N		
		CTI, CTS		CSI		CSS		SAG	SAP-SPA	PSI	PEX	FPR	FPP	CFP, CRH
		Tipo principal de uso		Cu	Cña, Ba, Fr, Cf, Pa	Ac	Cs-Cñ	Af	Pa	Pm	Ap, Pn	Bp	Bi, Ma	
A G R I C O L A	Cultivos transitorios intensivos	CTI	A	A	S2	S2	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3	
	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3	
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	CSI	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3	
	Cultivos semipermanentes y permanentes semi intensivos	CSS	O1	O1	A	A	A	S2	O1	S2	S1	S3	S3	
A G R O F O R E S T A L	Silvoagropecuaria	SAG	O3	O1	O2	O1	A	S2	O2	S1	A	S2	S3	
	Agrosilvopastoril	SAP	O3	O1	O2	O1	O1	A	O2	A	A	S2	S3	
	Silvopastoril	SPA	O3	O2	O3	O2	O2	A	O2	A	A	S2	S3	
	Pastoreo intensivo	PSI	O1	O1	O1	O1	O1	S1	A	S2	A	S3	S3	
P E C U A R I A	y semiintensivo													
	Pastoreo extensivo	PEX	O3	O3	O3	O2	O2	S1	O1	A	A	S2	S3	
F O R E S T A L	Producción	FPR	O3	O2	O3	O3	S1	O1	O3	S2	A	S2	S3	
	Protección -producción	FPP	O3	O3	O3	O3	O2	O2	O3	O1	A	A	A	
	Protectora	CFP	O3	O3	O3	O3	O2	O3	O3	O2	A	O1	A	
C O N S E R V A C I Ó N	Recursos hídricos	CRH	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A	
	Recuperación	CRE	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A	

**Figura 5-32. Matriz de decisión de conflictos por uso del suelo.**

Fuente: IGAC, 2002

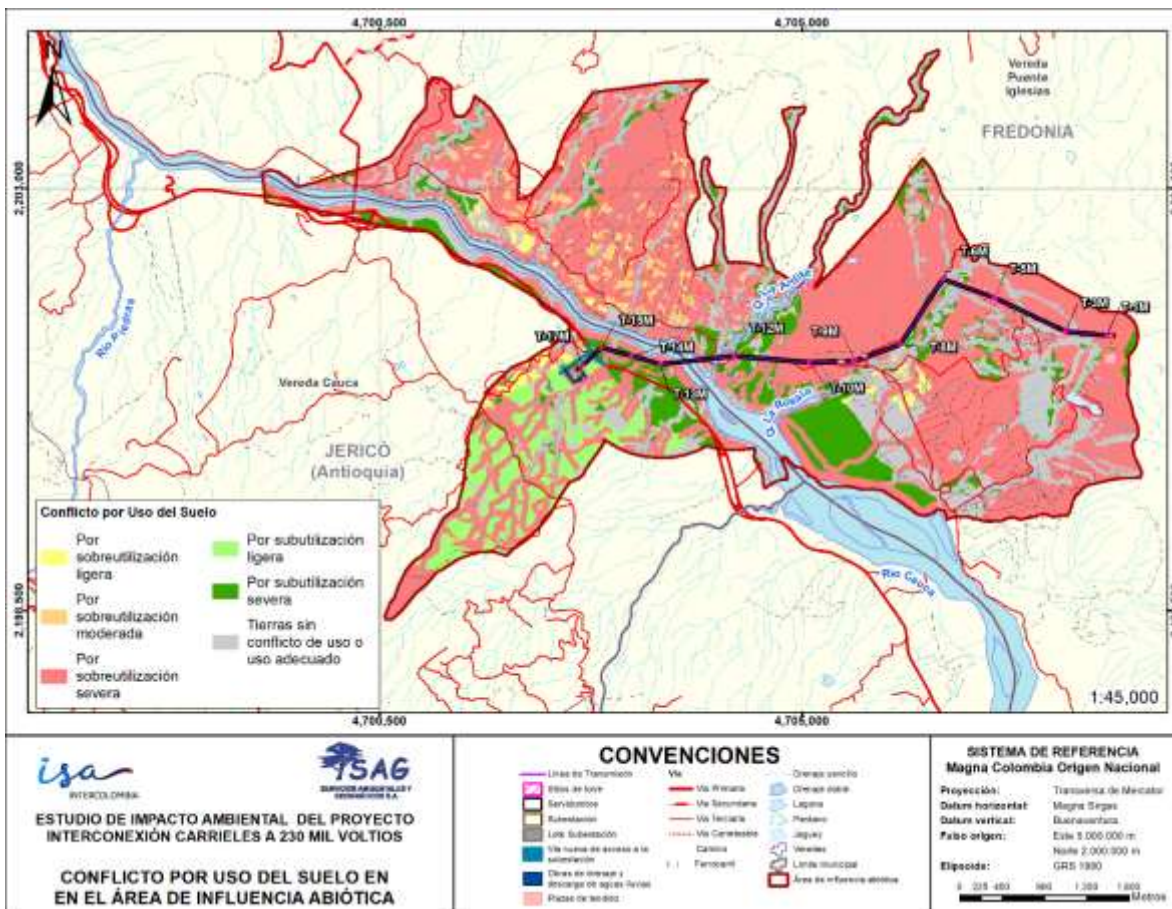
En términos generales, el 4,71% del área de influencia abiótica está ocupado por cuerpos de agua naturales. Así mismo, el 54,36% (1.245,68 ha) del AI abiótica presenta una sobreutilización severa (O3) del suelo, por presentar incompatibilidades altas entre los usos actuales y la vocación recomendada como se describirá posteriormente. El 22,81% (522,54 ha) del área de influencia corresponde a Tierras sin conflictos o con un uso adecuado. Con un total de 14,65% (335,68 ha) se encuentran los suelos con subutilización (ligera (S1) y severa (S3)). Y con un total del 1,74% (79,58 ha) se identifican suelos con sobreutilización, pero en grados ligeros (O1) y moderados (O2). Ver Tabla 5-44 y Figura 5-33.

Lo anterior, permite concluir, que el 72,49% del suelo del área de influencia no se está aprovechando adecuadamente. De igual manera, la sobreutilización del suelo (57,36%) en el área de influencia, se da por el desarrollo de actividades de pastoreo extensivo (PEX) y agricultura enfocada en cultivos permanentes intensivos (CPI).

**Tabla 5-44. Conflicto de uso del suelo en el área de influencia abiótica.**

Conflicto por uso del suelo	Símbolo	Área (ha)	Área (%)
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A	522,54	22,81%
Por subutilización ligera	S1	126,76	5,53%
Por subutilización severa	S3	208,92	9,12%
Por sobreutilización ligera	O1	27,73	1,21%
Por sobreutilización moderada	O2	51,85	2,26%
Por sobreutilización severa	O3	1245,68	54,36%
Cuerpos de agua	No aplica	107,85	4,71%
<b>Total</b>		<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-33. Distribución de los conflictos de uso del suelo en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A continuación, se describen las características principales de las categorías de conflicto de uso del suelo **determinadas** en el área de influencia abiótica:

- Tierras sin conflictos de uso o uso adecuado. Símbolo A

Representa el 21,91% (502,05 ha) del área de influencia abiótica. Bajo esta categoría se califica a las tierras donde el agroecosistema dominante guarda correspondencia con la vocación de uso principal o con un uso compatible. El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras.

Estas áreas se definen como lugares geográficos en los cuales existen condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto. Se debe mantener el uso actual o usos alternativos compatibles, incorporando en sus tecnologías de producción medidas que prevengan el deterioro de los recursos para garantizar su sostenibilidad **en el tiempo**.

En la Tabla 5-45, se observan los usos actuales del suelo que son compatibles con los usos principales potenciales definidos a partir de las características edafológicas y pedológicas del área de estudio. Así pues, las zonas que actualmente presentan Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE) (316,31 ha) tienen compatibilidad con los usos principales para Sistema Forestal Producción-protección (FPP) y Sistemas forestales protectores (FPR). En los territorios que presentan Cultivos permanentes intensivos (CPI) (73,20 ha), se definen usos principales potenciales compatibles con Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) y Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS). En las áreas que actualmente presentan Pastoreo extensivo (PEX) (68,69 ha) presentan compatibilidad con los usos de Pastoreo extensivo (PEX), Sistemas agrosilvopastoriles (ASP) y los Sistemas silvopastoriles (SPA). En el caso de las áreas que actualmente se destinan para Sistemas forestales productores (FPD) (11,64 ha), presentan compatibilidad de uso con los territorios con potencialidades para albergar Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), Pastoreo extensivo (PEX), Sistema forestal productor (FPD), Sistemas agrosilvícolas (AGS) y Sistemas agrosilvopastoriles (ASP). Finalmente, para los sitios con intervención antrópica donde actualmente hay infraestructura de transporte o residencial (52,69 ha) y que no presentan ningún rastro que evidencie propiedades orgánicas o minerales edáficas presentan compatibilidad entre sí mismos.

**Tabla 5-45. Usos del suelo que definen las tierras sin conflicto**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	268,42	51,37%
			Sistema Forestal Producción-protección (FPP)	9,74	1,86%
			Sistemas forestales protectores (FPR)	38,15	7,30%

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
		Cultivos permanentes intensivos (CPI)	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	1,73	0,33%
			Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	71,47	13,68%
		Pastoreo extensivo (PEX)	Pastoreo extensivo (PEX)	17,91	3,43%
			Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	21,99	4,21%
			Sistemas silvopastoriles (SPA)	28,79	5,51%
		Residencial	Residencial	16,05	3,07%
		Sistema forestal productor (FPD)	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	6,92	1,32%
			Pastoreo extensivo (PEX)	0,00	0,00%
			Sistema forestal productor (FPD)	1,08	0,21%
			Sistemas agrosilvícolas (AGS)	3,30	0,63%
			Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	0,34	0,06%
		Transporte	Transporte	36,64	7,01%
		<b>Total</b>			<b>522,54</b>

*Fuente: SAG, 2024*

- Conflictos por subutilización. Símbolo S

Calificación dada a las tierras donde el agroecosistema dominante corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la vocación de uso principal o la de los usos compatibles.

En estas áreas el uso actual es menos intenso en comparación con la mayor capacidad productiva de las tierras, razón por la cual no cumplen con la función social y económica establecida por la Constitución Nacional, cuyo fin es el de proveer de alimentos a la población y satisfacer sus necesidades básicas. En esta clase se diferenciaron dos (2) grados de intensidad, así:

- Subutilización ligera. Símbolo S1: Tierras cuyo uso actual es muy cercano al uso principal, por ende, a los usos compatibles, pero que se ha evaluado como de menor intensidad al recomendado. Estas áreas se representan en el mapa con color amarillo claro; se anota que, con estudios más detallados, esta subutilización puede ser confirmada o revaluada. Representa el 5,61% (128,52 ha) del área total de estudio.

En la Tabla 5-51, se observa que el uso actual de Pastoreo extensivo (PEX) en la extensión de 126,76 ha presenta una incompatibilidad por subutilización ligera con el uso principal potencial recomendado correspondiente a Sistemas agrosilvícolas (AGS), dada las características agrologicas y potenciales empleadas en su definición (ver numeral 5.1.5.5).

**Tabla 5-46. Usos del suelo que definen el conflicto por subutilización ligera.**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Conflictos por subutilización ligera	S1	Pastoreo extensivo (PEX)	Sistemas agrosilvícolas (AGS)	126,76	100,00%
<b>Total</b>				<b>126,76</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

- Subutilización severa. Símbolo S3: Tierras cuyo uso actual está muy por debajo, en tres o más niveles de la clase de vocación de uso principal recomendada. Representa el 9,12% (208,92 ha) del área total de estudio.

Como se observa en la Tabla 5-47, se identifica que en 57,48 ha que se destinan para áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE) se presenta una subutilización severa por presentar incompatibilidad con los usos principales potenciales para cultivos permanentes semi-intensivos (CPS), cultivos transitorios semi-intensivos (CTS), pastoreo extensivo (PEX), sistema forestal productor (FPD), Sistemas agrosilvícolas (AGS), sistemas agrosilvopastoriles (ASP) y sistemas silvopastoriles (SPA).

De igual forma, en 141,85 ha que presentan un uso actual destinado para el pastoreo extensivo (PEX), se define que dichas áreas presentan características para un aprovechamiento del recurso en cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) y transitorios semi-intensivos (CTS).

Finalmente, para el caso de 9,59 ha que se encuentran actualmente en sistemas forestales productores (FPD), se identifica que se deberían estar destinando dichas áreas para usos de cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) y cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)

**Tabla 5-47. Usos del suelo que definen el conflicto por subutilización severa.**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Conflictos por subutilización severa	S3	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	0,09	0,04%
			Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	12,96	6,20%
			Pastoreo extensivo (PEX)	1,54	0,73%
			Sistema forestal productor (FPD)	36,32	17,39%
			Sistemas agrosilvícolas (AGS)	0,91	0,44%
			Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	2,72	1,30%
			Sistemas silvopastoriles (SPA)	2,94	1,41%
		Pastoreo extensivo (PEX)	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	4,70	2,25%
			Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	137,15	65,64%

 SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	Rev. No.: 4		2024-08-08

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
		Sistema forestal productor (FPD)	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	0,02	0,01%
			Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	9,57	4,58%
<b>Total</b>				<b>208,92</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

- Conflictos por sobreutilización. Símbolo O

Calificación dada a las tierras donde el uso actual dominante es más intenso en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas.

En estas tierras los usos actuales predominantes hacen un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva, siendo incompatibles con la vocación de uso principal y los usos compatibles recomendados para la zona, con graves riesgos de tipo ecológico y social.

- Sobreutilización ligera. Símbolo O1: Tierras cuyo uso actual está cercano al uso principal, pero que se ha evaluado con un nivel de intensidad mayor al recomendado y por ende al de los usos compatibles. Estas áreas se representan en el mapa con color rojo muy claro; se anota que, con estudios más detallados, esta sobreutilización puede ser confirmada o revaluada. Representa el 1,21% (27,80 ha) del área de influencia abiótica.

En la Tabla 5-53, se puede observar que para un área de 27,73 ha en la que se encuentra actualmente cultivos permanentes intensivos (CPI), se presentan conflictos por sobreutilización ligera con los usos a los que debería estar destinada correspondientes a sistemas agrosilvícolas (AGS) y sistemas agrosilvopastoriles (ASP)

**Tabla 5-48. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización ligera.**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Conflictos por sobreutilización ligera	O1	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	Sistemas agrosilvícolas (AGS)	8,56	30,87%
			Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	19,7	69,13%
<b>Total</b>				<b>27,73</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

- Sobreutilización moderada. Símbolo O2: Tierras en las cuales el uso actual se encuentra por encima, en dos niveles, de la clase de vocación de uso principal recomendada, según la capacidad de producción de las tierras. Es frecuente encontrar en estas, rasgos visibles de deterioro de los recursos, en especial la presencia de procesos erosivos activos. Estas áreas se identifican en el mapa con color rojo claro. Representa el 2,26% (51,85 ha) del área de influencia.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4    2024-08-08	

Como se observa en la Tabla 5-49, para un área de 51,85 ha que posee un usos para Cultivos permanentes intensivos (CPI), estos presentan sobreutilización moderada debido a que dicho territorio debería albergar sistemas silvopastoriles (SPA).

**Tabla 5-49. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización moderada.**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Conflictos por sobreutilización moderada	O2	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	Sistemas silvopastoriles (SPA)	51,85	100,00
<b>Total</b>				<b>51,85</b>	<b>100,00</b>

*Fuente: SAG, 2024*

- Sobreutilización severa. Símbolo O3: Tierras en las cuales el uso actual supera en tres o más niveles, la clase de vocación de uso principal recomendado, presentándose evidencias de degradación avanzada de los recursos, tales como procesos erosivos severos, disminución marcada de la productividad de las tierras, procesos de salinización, entre otros. Estas áreas se encuentran representadas en el mapa con color rojo oscuro. Representa el 55,18% (1.264,34 ha) del área total de estudio.

En la Tabla 5-50, se puede observar que para 563,42 ha ocupadas actualmente por Cultivos permanentes intensivos (CPI), se presentan conflictos por sobreutilización severa con las vocaciones de usos principales que debería albergar como lo son las áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), Pastoreo extensivo (PEX), los sistemas forestal producción-protección (FPP), el sistema forestal productor (FPD) y los sistemas forestales protectores (FPR).

En el mismo sentido, para un área de 682,26 ha que se destinan para pastoreo extensivo (PEX), se presenta sobreutilización del recurso, debido a que en estos lugares se deberían albergar usos como lo son áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), los sistema Forestal Producción-protección (FPP) Sistema forestal productor (FPD) y los sistemas forestales protectores (FPR)

**Tabla 5-50. Usos del suelo que definen el conflicto por sobreutilización severa.**

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
Conflictos por sobreutilización severa	O3	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	236,77	19,01%
			Pastoreo extensivo (PEX)	2,65	0,21%
			Sistema Forestal Producción-protección (FPP)	72,25	5,80%
			Sistema forestal productor (FPD)	213,78	17,16%
			Sistemas forestales protectores (FPR)	37,98	3,05%



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4    2024-08-08	

Conflicto de uso del suelo	Símbolo	Uso actual del suelo	Uso principal potencial o vocación de uso	Área	
				(ha)	(%)
		Pastoreo extensivo (PEX)	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	328,12	26,34%
			Sistema Forestal Producción-protección (FPP)	55,13	4,43%
			Sistema forestal productor (FPD)	272,19	21,85%
			Sistemas forestales protectores (FPR)	26,82	2,15%

*Fuente: SAG, 2024*

### 5.1.5.7 Usos del suelo de acuerdo con los instrumentos de ordenamiento territorial

El área de influencia abiótica se localiza entre la vereda Puente Iglesias del municipio de Fredonia y la vereda Cauca del municipio de Jericó en el departamento de Antioquia, Colombia. Entre los usos generales del suelo que se adoptan en los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) de cada municipio se encuentran las siguientes determinaciones.

#### 5.1.5.7.1 Vereda Puente Iglesias municipio de Fredonia

De acuerdo Parágrafo 1 del Decreto 341 de 2000 de la Alcaldía Municipal de Fredonia por el cual se adopta el EOT, *“El Sector de Puente Iglesias queda como área rural por carecer de una infraestructura básica de servicios públicos domiciliarios y titularidad sobre la propiedad”*.

Actualmente se presenta explotación minera de oro en lecho de río. Así mismo, las Áreas para la conservación del sistema Ambiental de la vereda Puente Iglesias corresponden al sistema orográfico de Monte La Torre y en donde el tipo de conservación es Protección y Bosque Protector. Adicionalmente, en la vereda Puente Iglesias se permite la explotación ganadera bovina (Artículo 230 Decreto 341 de 2000) y la explotación de material de playa (Artículo 230 Decreto 341 de 2000)<sup>63</sup>.

Finalmente, y de acuerdo con el EOT del municipio de Fredonia, se tiene que los usos del suelo correspondientes a la vereda Puente Iglesias son los que se muestran a continuación en la Tabla 5-51; cabe señalar que el EOT de Fredonia, suministrado por la administración municipal, no cuenta con información cartográfica que permita especializar estas distribuciones de la vocación del suelo.

**Tabla 5-51. Uso del suelo rural vereda Puente Iglesias EOT Fredonia.**

<b>Unidad</b>	Uso Pecuario
<b>Tratamiento</b>	Recuperación Protección
<b>Uso Principal</b>	Pecuario bajo sistema silvopastoril

<sup>63</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE FREDONIA. Decreto N°: 341 del 7 de septiembre de 2000, Por medio del cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Fredonia – Antioquia. 2000, 103p.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

<b>Unidad</b>	Uso Pecuario
<b>Uso Complementario</b>	Bosque plantado Bosque nativo Agrícola
<b>Uso Restringido</b>	Parcelación Minería
<b>Uso Prohibido</b>	Ganadería extensiva

*Fuente: EOT Fredonia, 2000*

#### 5.1.5.7.2 Vereda Cauca municipio de Jericó

Con respecto al Acuerdo N° 01 del 31 de marzo de 2023 expedido por el Concejo Municipal de Jericó y por medio del cual “SE ADOPTA LA REVISIÓN Y AJUSTE DE LARGO PLAZO DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE JERICÓ”, se tiene que del área de influencia abiótica se especializa en suelo rural y presenta una clasificación de uso una extensión de 521,62 ha.

Así pues, conforme en los señalado en el artículo 129 del EOT de Jericó se tiene que:

**“Artículo 129. Definición.**

*Los tratamientos rurales agrupan las orientaciones de manejo encaminadas a direccionar las formas de ocupación, actividades, usos y aprovechamientos del suelo, de tal modo que faciliten la concreción del modelo de ocupación y posibiliten el logro de las políticas y objetivos planteados en el presente Acuerdo.”*


Como se observa en la Tabla 5-52 y la [Figura 5-34](#), el área de influencia abiótica del proyecto se superpone con cinco (5) categorías de tratamiento del suelo rural del municipio de Jericó.

A continuación, se describen los artículos del Acuerdo N°1 de 2023 de Jericó, con las características a tener en cuenta conforme a los tratamientos contemplado en el área de influencia abiótica:

**“Artículo 132. Tratamiento de Preservación Ambiental (PA).**

*Este tratamiento se aplica a las zonas que prestan bienes y servicios ambientales producto de los recursos naturales en ellas y que están cubiertas con coberturas boscosas naturales. Está dirigido a garantizar el mantenimiento de la situación existente, con la reducción al mínimo de la intervención antrópica.*

*Este tratamiento tiene lugar en zonas que reciben la categoría de ordenamiento de preservación en el DMI de los Recursos Naturales Renovables Cuchilla Jardín – Támesis y Nubes – Trocha – Capota, así mismo, es aplicado en las zonas cubiertas con vegetación nativa y/o con usos potenciales de conservación sobre el Escarpe Jericó Támesis, sobre los predios corporativos y municipales adquiridos para la protección ambiental, sobre las áreas de interés paisajístico y ambiental que deben ser conservadas por sus valores ecológicos, y, sobre los relictos de bosque seco tropical y de bosques en zona de montaña acogidos en la Estructura Ecológica Principal.*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

**Artículo 133. Tratamiento de Restauración Ecológica (RE).**

*Este tratamiento está dirigido a las superficies del municipio que presentan limitantes naturales y/o que son importantes para la prestación de bienes y servicios ecosistémicos, sobre las cuales deben mantenerse las coberturas boscosas naturales y que en la actualidad son objeto de intervenciones antrópicas o presentan algún grado de degradación. Mediante este tratamiento se pretende acelerar la restauración ecológica de los ecosistemas, recuperando y favoreciendo la formación de una cobertura vegetal en sus diferentes estados sucesionales, de tal manera que se promueva la conservación de los suelos y la biodiversidad, la regulación hidrológica, la restauración paisajística y se contribuya al incremento de la integridad ecológica y el restablecimiento de las funciones ecosistemas.*

*En este tratamiento solo son admisibles las actividades relacionadas con fines de restauración de los ecosistemas y sus condiciones naturales. No serán permitidas aquellas actividades que conlleven a daños o impactos negativos en los recursos naturales.*

...

**Artículo 137. Tratamiento de Conservación Patrimonial (COP).**

*Este tratamiento propende por la protección del patrimonio cultural construido y limita la transformación de la estructura física de áreas del municipio, de inmuebles particulares, de obras públicas y de elementos constitutivos del espacio público. En el suelo rural aplica para la Hacienda La Botero, declarada como Bien de Interés Cultural nacional mediante la Resolución 1584 de 2002 del Ministerio de Cultura y delimitada según la ficha de inventario del Ministerio de Cultura (unidad territorial SRP-COP-01).*

...

**Artículo 140. Tratamiento de Desarrollo Suburbano (DS).**

*Este tratamiento tiene por objeto potenciar el desarrollo de nuevas dinámicas comerciales, funcionales, turísticas e industriales ligadas al paso de las vías 4G sobre la vereda Cauca, en complementariedad con la preservación y restauración de los recursos naturales y especialmente del bosque seco tropical, así como también, con las actividades agro-productivas que allí tienen lugar.*

*Aplica exclusivamente en los polígonos asociados al corredor vial suburbano de la vereda Cauca y sobre el área definida para el desarrollo de una centralidad regional en la zona de Puente Iglesias, donde son demandados y requeridos usos y actividades en mayores intensidades bajo dinámicas diferentes con respecto al suelo suburbano tradicional del municipio. En estos polígonos, la construcción de las infraestructuras para el abastecimiento de servicios públicos y las vías estará a cargo del desarrollador urbanístico.*

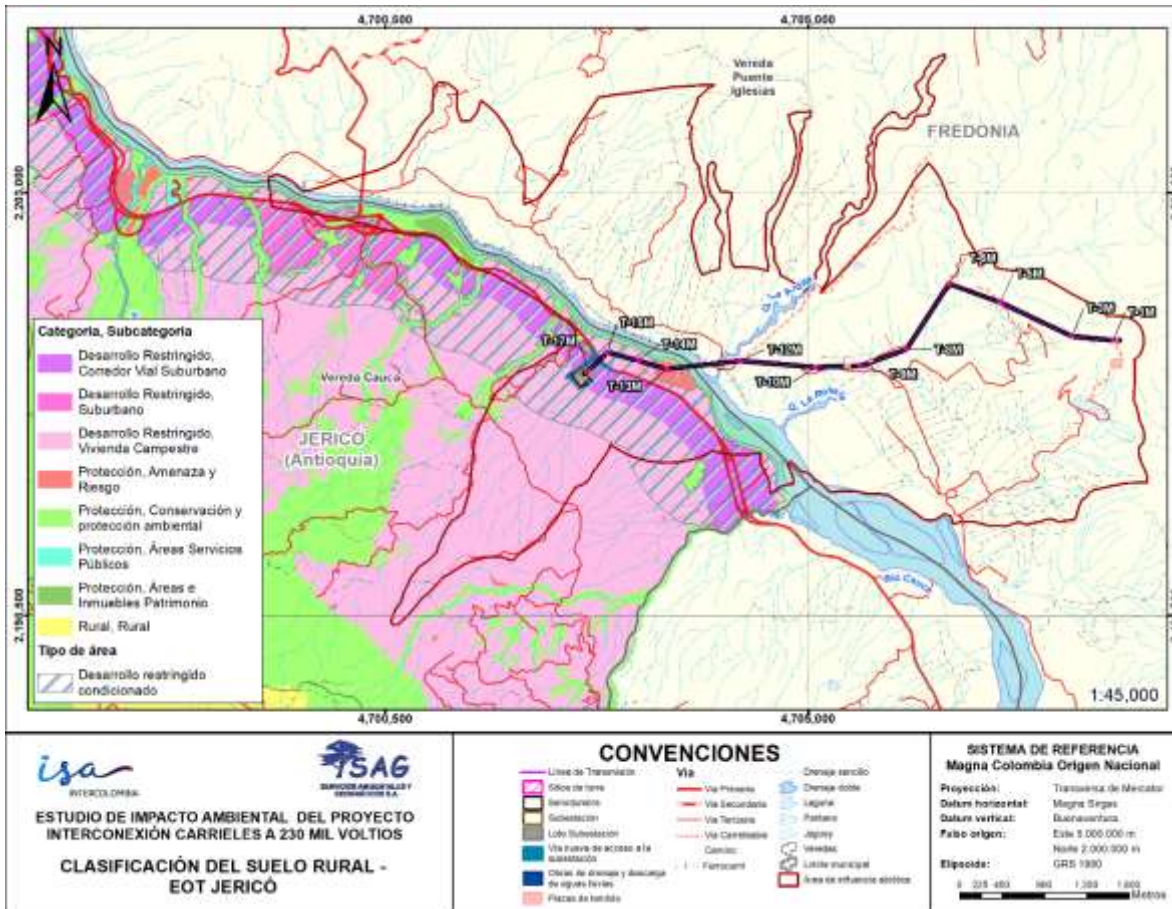
**Artículo 141. Tratamiento de Desarrollo Campestre y Agroturístico (DCA).**

*Este tratamiento propende por la consolidación o el desarrollo de nuevas unidades campestres en zonas con potencial y presión urbanística para dicha tipología de vivienda, bien sea en las cercanías del casco urbano o las zonas bajas del municipio relacionadas con la vereda Cauca. El objetivo de estas áreas será la coexistencia de unidades residenciales a intensidades intermedias en complementariedad con actividades agro-productivas, turísticas y de conservación de los recursos naturales. En estas áreas, la construcción de las infraestructuras para el abastecimiento de servicios públicos y las vías estará a cargo del desarrollador urbanístico.”*

**Tabla 5-52. Tratamientos del suelo rural del municipio de Jericó en el área de influencia abiótica.**

<b>Tratamientos EOT Jericó en el área de influencia</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Conservación Patrimonial	9,29	1,78%
Desarrollo Campestre y Agroturístico	330,39	63,34%
Desarrollo Suburbano	82,68	15,85%
Preservación Ambiental	16,92	3,24%
Restauración Ecológica	82,34	15,79%
<b>Total</b>	<b>521,62</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-34. Tratamientos del suelo rural del municipio de Jericó en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6 Hidrología

A continuación, se presenta la caracterización hidrográfica e hidrológica del proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios de acuerdo a los lineamientos establecidos en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17 (Resolución 0075 del 18 de enero de 2018). Considerando su zonificación hidrográfica, cuerpos lénticos y lóticos, patrones de drenaje, régimen hidrológico y morfometría. Posteriormente, se describe la climatología del área de influencia, incluyendo la distribución de la precipitación, temperatura y evapotranspiración. Igualmente, a través de los resultados obtenidos se presenta la caracterización hidrológica de las fuentes hídricas del área de influencia, en la cual se presenta el régimen hidrológico, compuesto por caudales medios, mínimos y máximos.

### 5.1.6.1 Zonificación hidrográfica

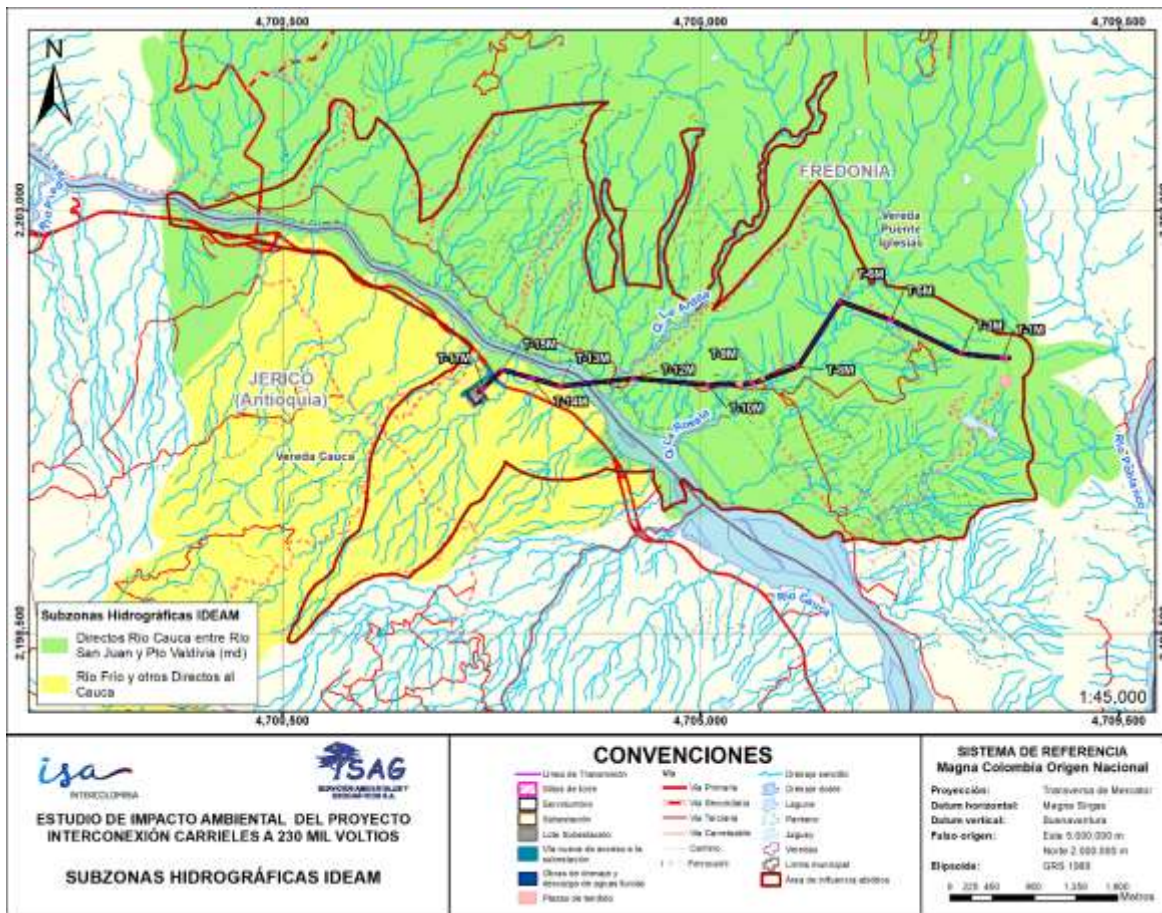
La zonificación hidrográfica del área de influencia abiótica se desarrolló con base en los lineamientos establecidos en la Guía de Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas, elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)<sup>64</sup>. De acuerdo con lo anterior, las cuencas evaluadas están enmarcadas dentro de las subzonas hidrográficas correspondientes a Río Frío y Otros Directos al Cauca (2617) y Directos río Cauca entre río San Juan y Puerto Valdivia (md) (2620), (ver [Figura 5-35](#) y [Tabla 5-53](#)).

**Tabla 5-53. Zonificación hidrográfica para las cuencas del área de influencia abiótica.**

Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona hidrográfica	Nombre de la cuenca
Magdalena-Cauca (2)	Cauca (26)	Río Frío y otros Directos al Cauca (2617)	Afluente sin nombre 1
			Afluente sin nombre 2
			Afluente sin nombre 3
			Afluente sin nombre 4
			Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)
			Afluente sin nombre 6
			Afluente sin nombre 7
			Afluente sin nombre 8
			Quebrada Dos Quebradas
			Quebrada Las Palmeras
		Directos Río Cauca entre Río San Juan y Pto Valdivia (md) (2620)	Afluente sin nombre 10
			Afluente sin nombre 11
			Afluente sin nombre 12
			Afluente sin nombre 13
			Afluente sin nombre 14
			Afluente sin nombre 15
			Afluente sin nombre 16
			Afluente sin nombre 17
			Afluente sin nombre 18
			Afluente sin nombre 9
			Directos al río Cauca
			Quebrada El Campamento
			Quebrada La Ardita
			Quebrada La Rosala
			Quebrada La Sapo
			Quebrada La Torre
Quebrada Tuntuna			

Fuente: SAG 2023 a partir de información de IDEAM, 2013

<sup>64</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia. Bogotá, D.C. 2013.



**Figura 5-35. Subzonas hidrográficas en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.2 Cuencas hidrográficas

Se trazaron las respectivas cuencas hidrográficas de cada una de las fuentes del área de influencia según los drenajes de la cartografía básica de Colombia a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Las cuencas hidrográficas se describen en la Tabla 5-54 y se presentan en la Figura 5-36.

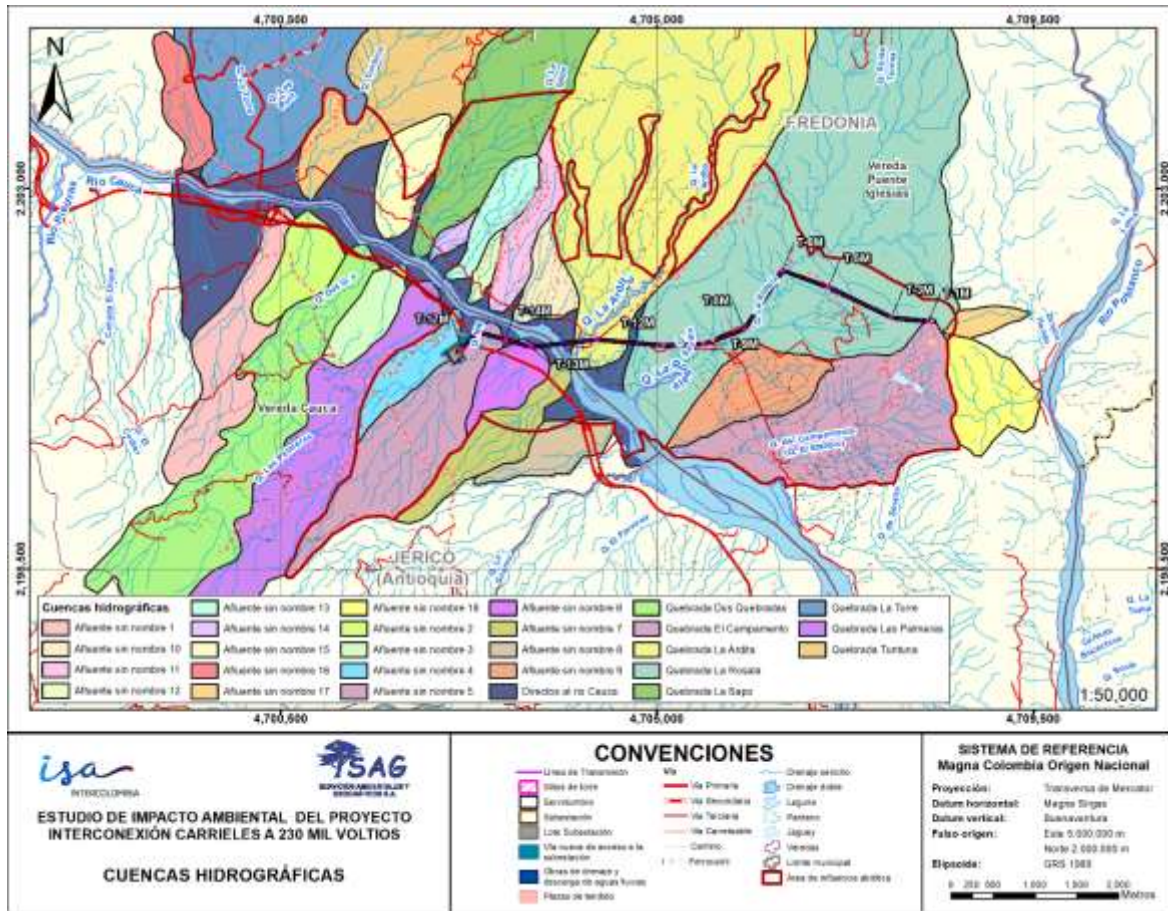
**Tabla 5-54. Cuencas hidrográficas de estudio abiótica.**

ID	Nombre	Fuente hídrica asociada	Área (km²)
1	Afluente sin nombre 1	Afluente sin nombre 1	1,67
2	Afluente sin nombre 2	Afluente sin nombre 2	0,77
3	Quebrada Dos Quebradas	Quebrada Dos Quebradas	3,82
4	Afluente sin nombre 3	Afluente sin nombre 3	0,61
5	Quebrada Las Palmeras	Quebrada Las Palmeras	3,61

<b>ID</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fuente hídrica asociada</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
6	Afluente sin nombre 4	Afluente sin nombre 4	0,64
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	2,15
8	Afluente sin nombre 6	Afluente sin nombre 6	0,58
9	Afluente sin nombre 7	Afluente sin nombre 7	0,97
10	Afluente sin nombre 8	Afluente sin nombre 8	0,63
11	Quebrada El Campamento	Quebrada El Campamento	3,35
12	Afluente sin nombre 9	Afluente sin nombre 9	1,15
13	Quebrada La Rosala	Quebrada La Rosala	15,24
14	Quebrada La Ardita	Quebrada La Ardita	16,82
15	Afluente sin nombre 10	Afluente sin nombre 10	0,53
16	Afluente sin nombre 11	Afluente sin nombre 11	0,69
17	Afluente sin nombre 12	Afluente sin nombre 12	0,16
18	Afluente sin nombre 13	Afluente sin nombre 13	0,59
19	Afluente sin nombre 14	Afluente sin nombre 14	0,13
20	Quebrada La Sapo	Quebrada La Sapo	3,08
21	Afluente sin nombre 15	Afluente sin nombre 15	0,79
22	Quebrada Tuntuna	Quebrada Tuntuna	7,57
23	Quebrada La Torre	Quebrada La Torre	8,72
24	Afluente sin nombre 16	Afluente sin nombre 16	0,63
25	Afluente sin nombre 17	Afluente sin nombre 17	0,24
26	Afluente sin nombre 18	Afluente sin nombre 18	1,05
27	Directos al río Cauca	Afluentes directos al río Cauca entre el área de influencia abiótica	4,37

*Fuente: SAG, 2024*





**Figura 5-36. Fr hidrográficas en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.3 Sistemas lénticos

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible <sup>65</sup>, los sistemas lénticos son aquellos que tienen un espejo de agua permanente o que mantienen un área saturada la mayor parte del año hidrológico. Pueden ser aislados, como algunos lagos y lagunas de alta montaña, o presentarse en forma de sistemas interconectados entre sí y con los ríos, los cuales son conocidos como complejos de humedales. Es importante mencionar además que, en esta categoría se incluyen los jagüeyes.

Según el IDEAM<sup>66</sup> los jagüeyes son depósitos artesanales construidos para el almacenamiento de agua durante la época de sequía. Una ciénaga es un depósito de agua que abastece y es abastecido, cuyas características son iguales a los lagos, pero con una

<sup>65</sup> Minambiente. (2018). Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia.

<sup>66</sup> IDEAM. Glosario. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>.

profundidad inferior a los 10 m, una laguna es un depósito natural más o menos considerable de agua dulce o salada, en conexión con el mar o sin ella que no abastece ni es abastecido, o abastece sin ser abastecido o es abastecido sin abastecer y cuya profundidad es mayor a los 10 m, y los pantanos son una depresión del terreno donde de forma natural queda agua estancada, generalmente con poca profundidad y cuyo fondo es más o menos cenagoso<sup>67</sup>.

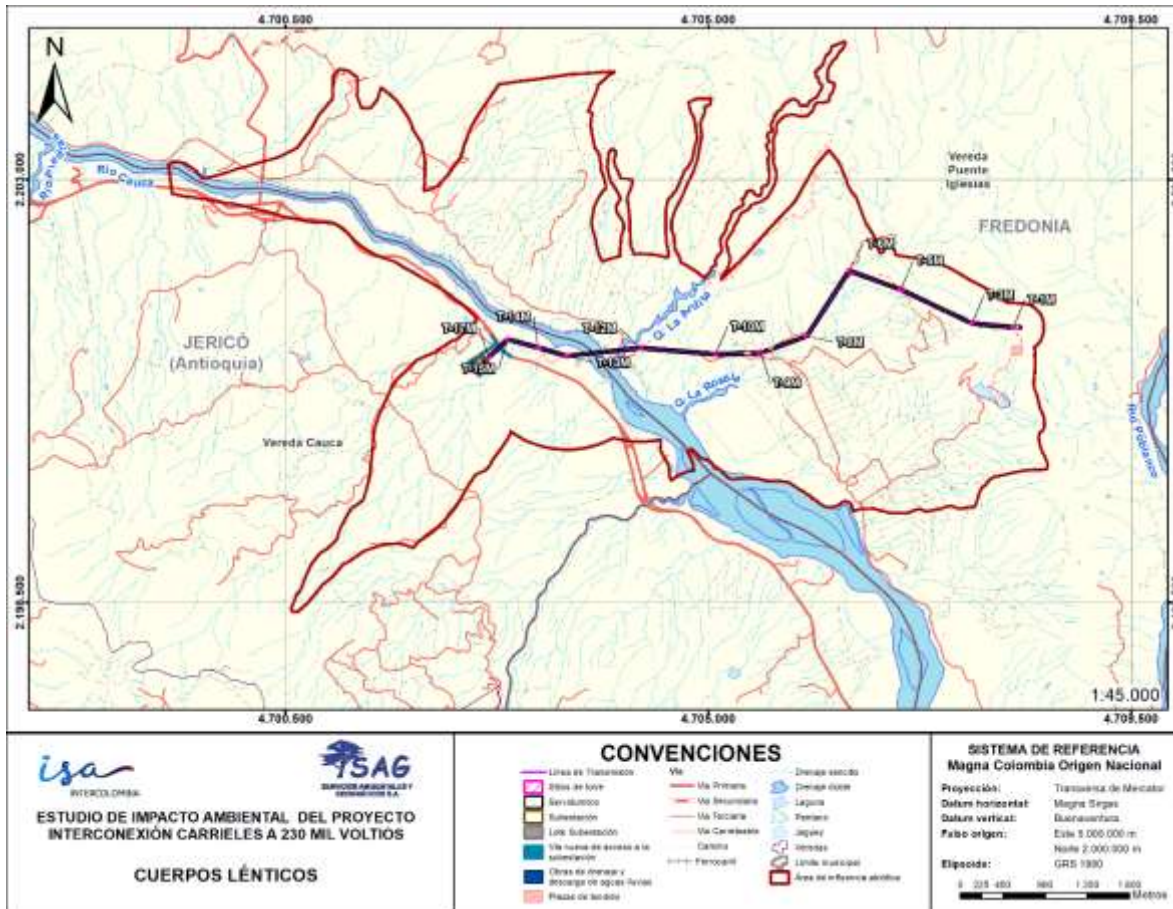
Al interior del área de influencia abiótica se identifica la presencia de seis (6) lagunas, cuatro (4) jagüeyes y diez (10) zonas de pantano, los cuales se pueden observar en la Tabla 5-55 y en la Figura 5-37.

**Tabla 5-55. Cuerpos lénticos en el área de influencia abiótica.**

ID	Tipo sistema	Coordenadas del centroide Magna Sirgas Origen Nacional		Área (ha)
		Este	Norte	
1	Laguna	4704606,10	2199937,43	0,28
2	Laguna	4702510,37	2201430,74	0,32
3	Laguna	4703972,22	2201792,75	0,11
4	Laguna	4705533,82	2202224,63	0,53
5	Laguna	4707990,41	2200708,95	3,37
6	Jagüey	4701604,03	2202994,77	0,05
7	Pantano	4704390,57	2200726,47	0,02
8	Pantano	4707898,09	2201434,19	0,04
9	Pantano	4703611,89	2201048,28	0,18
10	Pantano	4708041,78	2201407,77	0,09
11	Jagüey	4708163,00	2200966,65	0,07
12	Laguna	4702275,45	2201791,38	0,06
13	Jagüey	4708181,07	2200474,68	0,11
14	Pantano	4708245,91	2200549,71	0,00
15	Pantano	4708247,75	2200530,99	0,00
16	Pantano	4708326,15	2200386,97	0,02
17	Pantano	4708468,42	2200394,82	0,01
18	Pantano	4708473,11	2200418,95	0,01
19	Pantano	4708300,02	2200005,07	0,06
20	Jagüey	4707725,04	2200384,11	0,01
<b>Total</b>				<b>5,34</b>

Fuente: SAG, 2024

<sup>67</sup> IDEAM. Glosario Hidrología. En línea. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>. Consultado el 2 de septiembre de 2020.



**Figura 5-37. Cuerpos lénticos en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.4 Sistemas lóticos

Los sistemas lóticos o sistemas fluviales se caracterizan porque en ellos el agua presenta un movimiento definido, continuo e irreversible<sup>68</sup>. Dentro de estos sistemas se encuentran los ríos, quebradas, arroyos y caños.

Según el IDEAM<sup>69</sup>, un río es una corriente de agua de grandes dimensiones que sirve de canal natural en una cuenca de drenaje. Una quebrada es un curso natural de agua normalmente pequeño y poco profundo, por lo general de flujo permanente, en cierto modo turbulento y tributario de un río y/o mar. Un arroyo es un curso de agua pequeño y poco

<sup>68</sup> Agencia Nacional de Tierras. (2021). Determinantes del Ordenamiento social de la propiedad rural.OSPR. Herramienta de consulta de los componentes ambiental, de riesgo y sectorial. Sistemas lóticos. Disponible en: [https://apps.ant.gov.co/BARRIDO\\_PREDIAL/1-3-1-1-sistemas-loticos/#1622490865835-1714d2ac-2b41](https://apps.ant.gov.co/BARRIDO_PREDIAL/1-3-1-1-sistemas-loticos/#1622490865835-1714d2ac-2b41)

<sup>69</sup> IDEAM. Glosario. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

profundo, por lo general de flujo permanente y en cierto modo turbulento. Y un caño es un curso natural de agua de flujo intermitente propio de zonas planas.

Según el contexto anterior, el área de influencia abiótica está localizada al interior de la cuenca hidrográfica del río Cauca, el principal sistema lótico dada su importancia en relación con su magnitud y los servicios que son la base del desarrollo socioeconómico, además de ser un corredor multifuncional para la conectividad con Latinoamérica y el mundo<sup>70</sup>. Entre las corrientes menores en el área de influencia se destacan las quebradas: La Tuntuna, Sevilla, Santa Teresa, Los Ruiz, Los Gallinazos, Las Palmeras, La Torre, La Sapo, La Rosala, La Ardita, Emilio Ruda, Dos Quebradas y El Establo (ver Figura 5-38).

- **Río Cauca**

El río Cauca es el segundo río más importante de Colombia después del Magdalena, del cual es su principal afluente. Se mueve entre las cordilleras central y occidental a lo largo de 1.350 km, abarcando siete departamentos desde su nacimiento en el macizo colombiano entre los departamentos de Cauca y Huila, hasta llegar al Brazo de Loba cerca del municipio de Pinillos en el departamento de Bolívar<sup>71</sup>. Al entrar al departamento de Antioquia, el cañón del río Cauca recibe como tributarios ríos y quebradas, de los flancos occidental de la Cordillera Central y oriental de la Cordillera Occidental, en su primer tramo el valle es estrecho, profundo y en “V”, donde se puede identificar una etapa juvenil.

A continuación, se describen las corrientes menores del área de influencia según CORANTIOQUIA<sup>72</sup> y Universidad Nacional de Colombia<sup>73</sup>.

- **Quebrada La Ardita**

La cuenca hidrográfica de la quebrada La Ardita se localiza en el flanco occidental de la cordillera central, al sur del casco urbano del municipio de Fredonia en el suroeste Antioqueño. Nace en la vereda Combia Grande a una cota de 1.900 m.s.n.m y desemboca al río Cauca en la cota 500 m.s.n.m, aguas arriba del casco urbano del corregimiento Puente Iglesias. Así mismo, pasa por las veredas El Zancudo, El Calvario, La María y Marsella hasta tributar al río Cauca<sup>74</sup>. Esta cuenca tiene un área de 16,82 km<sup>2</sup>.

<sup>70</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Ministerio de Hacienda y Crédito Público y Departamento Nacional de Planeación. (2009). Documento CONPES 3624. Programa para el Saneamiento, manejo y recuperación ambiental de la cuenca alta del río Cauca. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3624.pdf>

<sup>71</sup> BANCO DE LA REPÚBLICA. Río Cauca: la geografía económica de su área de estudio, 2015. Disponible en: [https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser\\_225.pdf](https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_225.pdf)

<sup>72</sup> CORANTIOQUIA. Diagnóstico biofísico y económico del tramo comprendido entre el municipio de la Pintada y el corregimiento de Peñalisa, de la reserva de recursos naturales de la zona ribereña del río Cauca, 2006. Disponible en: [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AREAS%20PROTEGIDAS/AIRNR\\_CN\\_6350\\_2005.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AREAS%20PROTEGIDAS/AIRNR_CN_6350_2005.pdf)

<sup>73</sup> Universidad Nacional de Colombia. (2006). Diagnóstico ambiental de la microcuenca La Ardita del municipio de Fredonia, departamento de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Disponible en: [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR\\_CN\\_6486\\_2005\\_MCLARDITA.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_CN_6486_2005_MCLARDITA.pdf)

<sup>74</sup> Universidad Nacional de Colombia. (2006). Ibid.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4   2024-08-08

- **Quebrada La Rosala**

La quebrada La Rosala se encuentra ubicada en el municipio de Fredonia y cuenta con una longitud aproximada de 13 km. La principal actividad asociada a esta fuente hídrica es el riego de cultivos de cítricos.

- **Quebrada La Sapo**

La quebrada La Sapo se encuentra ubicada en el municipio de Fredonia y cuenta con una longitud aproximada de 3,7 km. Su cuenca se encuentra protegida principalmente por cercas vivas de Matarratón y el uso principal de sus aguas es para el riego de cultivos de cítricos.

- **Quebrada La Torre**

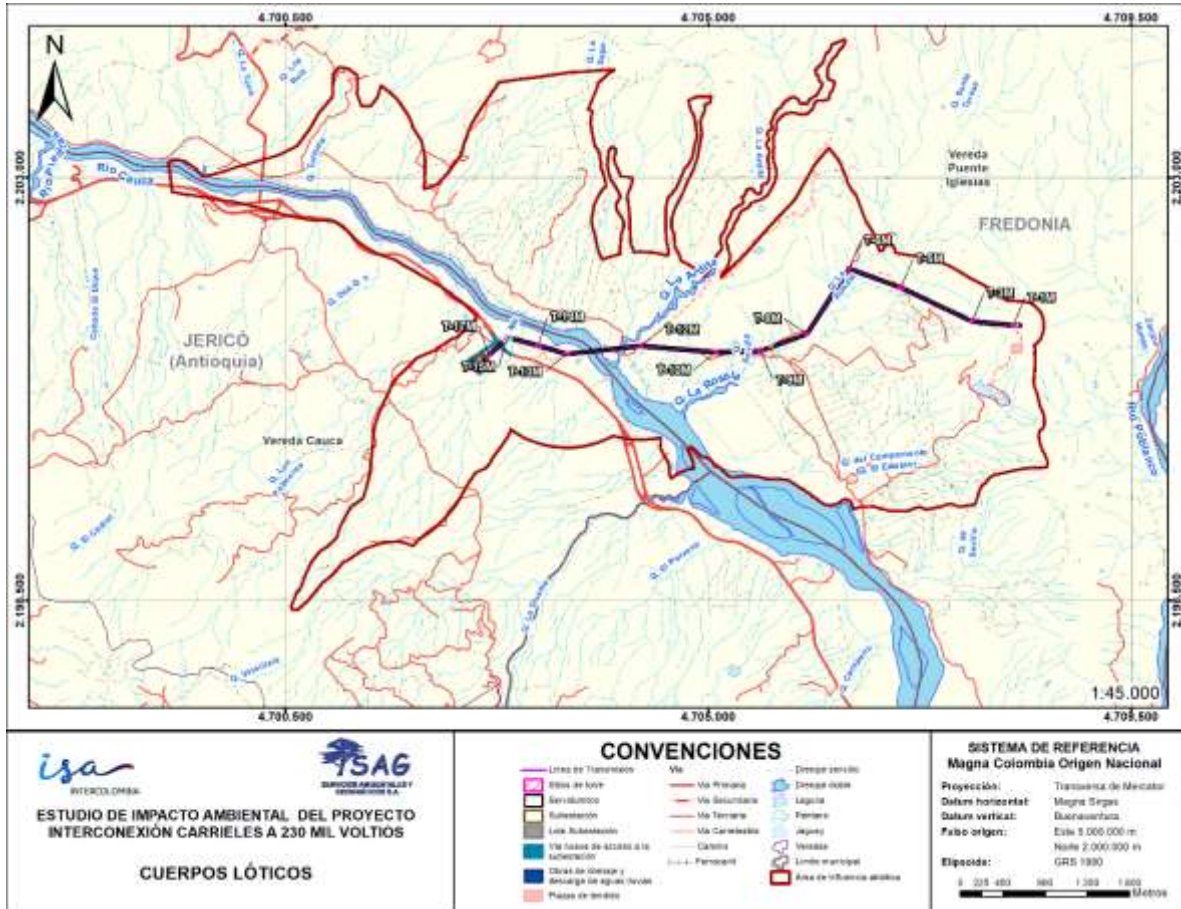
La quebrada La Torre se encuentra ubicada en el municipio de Fredonia y cuenta con una longitud aproximada de 6,6 km. Su cuenca se encuentra protegida principalmente por cercas vivas de Matarratón y el uso principal de sus aguas es para el riego de cultivos de cítricos.

- **Dos Quebradas**

La quebrada Dos Quebradas se encuentra ubicada en el municipio de Jericó y cuenta con una longitud aproximada de 2,7 km. Su cuenca se encuentra protegida principalmente por cercas vivas de Matarratón.

- **Las Palmeras**

La quebrada Las Palmeras se localiza en el municipio de Jericó, tiene una longitud de 6,80 km, nace aproximadamente a los 2.141 msnm y desemboca en el río Cauca a los 558 msnm aproximadamente.



**Figura 5-38. Cuerpos lóticos en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

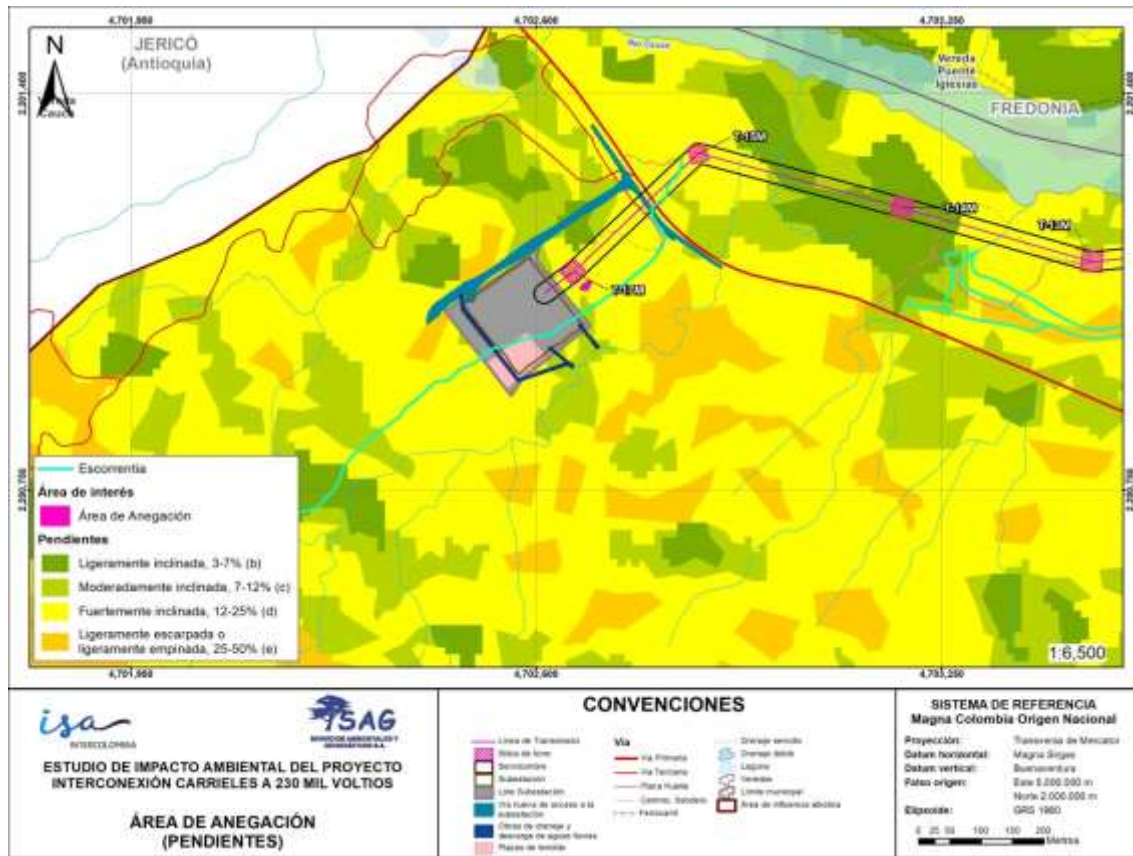
En respuesta al Requerimiento 10 Literal A del Expediente LAV0019-00-2024, a continuación, se presenta la complementación de las características morfológicas e hidrográficas actuales de las áreas de anegación asociadas a la subestación Carrielas, las cuales no son constitutivas de cuerpos de agua naturales o antrópicos.

Previo al desarrollo del análisis de dinámica fluvial asociado a las áreas de anegación establecidas en la vecindad del predio aferente a la subestación Carrielas, Servicios Ambientales y Geográfico S.A, presenta la una contextualización de la evolución del estado morfológico y de las condiciones biofísicas del área de interés, referidas desde la presentación del Diagnóstico Ambiental del Alternativas del proyecto afín.

- **Características de la zona de anegación**

En el contexto geomorfológico, la zona de anegación está representada por una depresión en el terreno con pendientes bajas o ligeramente inclinadas inferiores al 7% (ver Figura 5-39), contenida en una unidad de suelo con texturas moderadamente finas a finas,

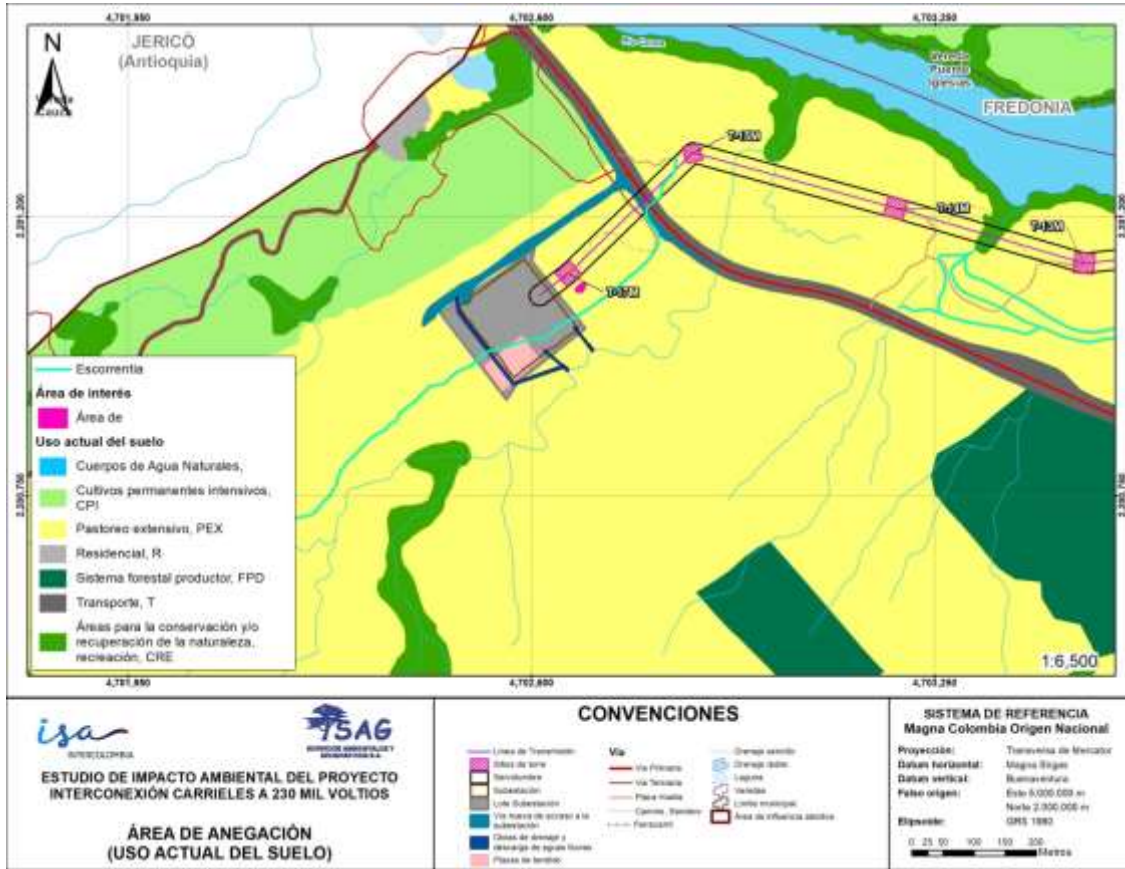
presentar densidades altas y una porosidad baja y muy baja, típicamente dominada por suelos compactados que favorecen el encharcamiento temporal del agua lluvia o escorrentía (ver numeral 5.1.5.2.1 – Caracterización Abiótica).



**Figura 5-39. Mapa de pendientes asociado a la zona de anegación (subestación Carrieles).**

Fuente: SAG, 2024

Sumado a la baja permeabilidad del suelo adyacente y de acuerdo a la vocación del uso del suelo (áreas de pastoreo extensivo, ver ) eventualmente, el predio fue intervenido a través de acequias perimetrales para favorecer la evacuación de la escorrentía almacenada en la zona (ver Fotografía 5-18); las cuales en ausencia de mantenimiento permitieron aumentaron el tiempo de retención de la escorrentía en el área de anegación, aumentando el grado de saturación o de humedad del suelo y con ello, la proliferación de especies hidrofílicas (p.e macrófitas acuáticas), ver Fotografía 5-19.



**Figura 5-40. Usos actuales del suelo en la zona de anegación.**

*Fuente: SAG, 2024*

En el contexto hidrológico, no se presentan cuerpos de agua lenticos o lóxicos asociados a la zona de anegación; como único aporte de humedad, se contemplan flujos de escorrentía inherentes a eventos de precipitación efectiva en el área de drenaje adyacente, los cuales se extienden desde el predio donde se construirá la subestación Carrieles hacia la depresión de referencia, con flujos preferenciales en sentido OESTE – ESTE.





**Fotografía 5-18. Acequias utilizadas para el manejo de la escorrentía en la zona de anegación (2022).**



**Fotografía 5-19. Zona de Anegación (presencia de vegetación hidrófila).**

*Fuente: SAG, 2024*

En el contexto ambiental, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, mediante el Auto 040-COI2305-13867 del 31 de mayo de 2023, describe el área de interés asociada a la zona de anegación del predio Bariloche, como un área de empozamiento de agua, con canales para la evacuación de la escorrentía superficial, no constitutivas de cuerpos de agua natural o antrópico y sin representación en la cartografía base oficial de drenajes de la autoridad ambiental en mención.

- **Análisis de dinámica fluvial**

Para determinar las características hidráulicas medias de la zona de anegación de interés, se realizó la fotointerpretación de imágenes satelitales del área de influencia y recorridos de campo, considerando un periodo desde el año 2007 al 2023.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

En la Figura 5-41, se presenta la variación multitemporal del sector aledaño a la torre T-17M, y la zona anegación reconocida en las visitas técnicas. De conformidad con las condiciones morfológicas del terreno y los resultados del procesamiento de bandas RGB, en el año 2007, no se observan canales, vaguadas u otros signos de erosión de la escorrentía superficial, ni bordes o riveras asociadas a cuerpos de agua lénticos; a lo largo del periodo de tiempo evaluado, solo hasta el 2015, se evidencian condiciones de alta saturación o agua libre en el terreno que definen un perímetro base de acumulación de agua en el área de anegación, lo cual podría estar asociada a la ocurrencia de eventos de precipitación significativos los días previos a la imagen. Análogo a los argumentos presentados en la caracterización de la zona de anegación, los posibles cambios en la vocación del uso del suelo en el predio, sumando a la ausencia de mantenimientos o podas en la zona de anegación, permitió la consolidación y sucesiones de la cobertura vegetal circundante, con un incremento en el número de individuos arbóreos hacia el año 2022, con la continuidad en el tiempo del espejo de agua en la depresión del terreno asociada al área de anegación.

El procesamiento de las ortofotos del proyecto, que cuentan con una resolución de 0,5 x 0,5 m, para los años 2015, 2020 y 2022, y recorridos de campo, corroboran los hallazgos realizados con la información disponible en Google Earth®, con la posibilidad de delimitar las condiciones hidráulicas medias del eventual zona base de anegación, cuyo centroide en la actualizada se localiza en el punto de coordenadas 4.702.680 E – 2.201.084 N (EPSG: 9733 – UTM 12), consta de un área de 121,24 m<sup>2</sup>, con un perímetro medio de unos 46,86 m, siendo estas características variables de acuerdo a las condiciones hidrológicas intra e interanuales, donde incluso se pueden percibir un área completamente seca en épocas de estiaje.

Finalmente, en el marco de la respuesta al Requerimiento 10 – a, se incluye el perímetro medio de la zona de anegación definida en el Modelo de Almacenamiento de Datos del proyecto, reiterando el carácter antrópico del mismo y las características biofísicas constitutivas de una zona de acumulación de escorrentía, sin interacciones con los sistemas lénticos o lóticos identificados en el área de influencia, sin restricciones de uso por parte de la autoridad ambiental regional.



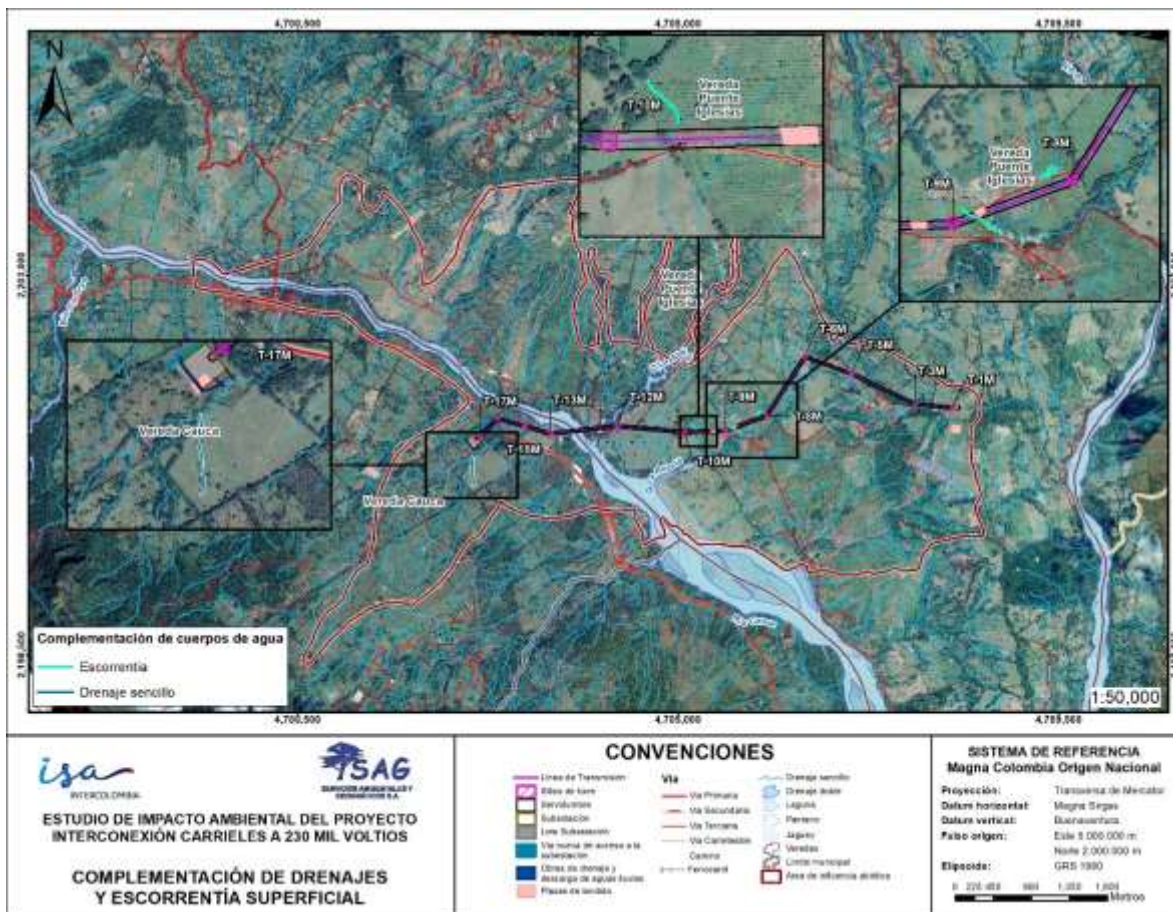
**Figura 5-41. Análisis multitemporal de imágenes satelitales (Google Earth® – SAG, 2022).**

*Fuente: SAG, 2024*

En respuesta al Requerimiento 18 del Expediente LAV0019-00-2024, para la verificación y ajuste de la red de drenaje en la vecindad de las obras de infraestructura del proyecto, Servicios Ambientales y Geográficos S.A, efectuó un análisis de imágenes satelitales, ortomosaicos del proyecto y rutinas de acumulación de flujo basados en modelos de elevación digital de terreno, y recorridos de campo, corroborando el alineamiento longitudinal y axial de los drenajes naturales y antrópicos adyacentes a las obras afines. Estos elementos cartográficos fueron actualizados en el Modelo de Almacenamiento de Datos Geográficos (MAG) en las capas respectivas (Drenaje L y Escorrentía).

En términos generales, se incluyó un nuevo drenaje natural asociado al cuerpo de agua denominado “sin nombre” en el cual se realizará las descargas de escorrentía provenientes de las cunetas perimetrales y patio de la subestación Carrieles, además de cuatro (4) acequias o canales antrópicos sin revestimientos, construidos en área de cultivos para el

manejo de la escorrentía superficial (ver Figura 5-42). De conformidad con la localización espacial de los sistemas hídricos previamente mencionados, en ningún caso las actividades derivadas de la fase de construcción y operación de las obras de infraestructura, afectan la dinámica y régimen hidrosedimentológico de las áreas de drenaje aferentes, retiros o cauces asociados a los mismos.



**Figura 5-42. Sistemas hídricos ajustados según el Requerimiento 18 del Expediente LAV0019-00-2024.**

*Fuente: SAG, 2024*

### 5.1.6.5 Parámetros morfométricos

Para determinar los parámetros morfométricos de las fuentes evaluadas, se delimitaron sus cuencas hidrográficas, tomando como puntos de control, los sitios de interés para la estimación de los caudales. Las características morfométricas de las cuencas fueron determinadas a partir del modelo digital de elevación (DEM) del satélite Alos Palsar de 12,5

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4    2024-08-08

m de resolución y de información secundaria proveniente de la cartografía básica de Colombia a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Usando las herramientas de cálculo disponibles en el Software ArcGIS 10.8., se obtuvieron los parámetros morfométricos listados a continuación:

- Coordenadas del punto de control: Corresponde a la ubicación “X/Este” y “Y/Norte” de los sitios a evaluar para el análisis de oferta hídrica en cada cuenca. Para el presente caso las coordenadas se trabajaron en el sistema Magna Sirgas Origen Nacional.
- Área de la cuenca (A): Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas del área de influencia. Este parámetro se expresa normalmente en ha o km<sup>2</sup>.
- Perímetro de la cuenca (P): Se puede considerar como la línea formada por la divisoria de la cuenca de estudio; este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.
- Longitud axial de la cuenca (Lc): Se define como la distancia horizontal entre la desembocadura de la cuenca (punto de control), hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.
- Ancho medio de la cuenca (B): Se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (Lc).
- Factor de forma de Horton (Kf): Es un factor adimensional que intenta medir cuán cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo (Kf<1), está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

- K<sub>f</sub> = Factor de forma de Horton
- A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>
- L = Longitud de la cuenca en km

Valores de K<sub>f</sub> menores a 1 sugieren cuencas alargadas, y mayores a 1 sugieren cuencas redondeadas.

- Coeficiente de compacidad (Kc): Este coeficiente adimensional, fue propuesto por Gravelius, y compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia. La ecuación de este coeficiente corresponde a:

$$K_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- $K_c$  = Índice de compacidad
- P = Perímetro de la cuenca en km
- A = Área de la cuenca en  $km^2$

Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua (ver también Tabla 5-56).

**Tabla 5-56. Clasificación del índice de compacidad de Gravelius.**

Rangos de $K_c$	Forma
1,00 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga

*Fuente: Ortiz, 2004*

- Cota mayor de la cuenca (CMc) y cota menor de la cuenca (Cmc): Corresponde a la elevación (m.s.n.m) de los puntos más altos y bajos de cada cuenca.
- Pendiente media de la cuenca (Pc): Es el índice que representa la pendiente media de las trayectorias que sigue el agua que escurre hacia el cuerpo de agua. La pendiente media se da en porcentaje o m/m. Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los cauces que hacen parte de la red de drenaje de la cuenca. Mediante el modelo digital de elevación (DEM) del satélite Alos Palsar de 12,5 m de resolución, se obtuvo el mapa de pendientes y utilizando la herramienta de estadística zonal, se obtuvieron los valores de pendientes medias para cada cuenca.
- Cota mayor de cauce principal (CMrp) y cota menor del cauce principal (Cmrp): Corresponde a la elevación (m.s.n.m) de los puntos más altos y más bajos de la corriente principal de cada cuenca.
- Longitud de la corriente o cauce principal (Lrp): Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio; en este parámetro se tienen en cuenta las irregularidades y curvas del cauce, y se expresa normalmente en kilómetros.
- Pendiente de la corriente principal (Prp): Representa el desarrollo del perfil del cauce principal. Este parámetro depende de la diferencia entre la cota mayor de la corriente y la cota del sitio de interés, y de la longitud del cauce. Se expresa normalmente en grados o en porcentaje.

- Índice de sinuosidad (Is): Corresponde a la relación entre la longitud del cauce (Lrp) y la distancia en línea recta entre los dos puntos extremos del mismo. Según Schumm<sup>75</sup>, el índice de sinuosidad se puede clasificar según la Tabla 5-57.

**Tabla 5-57. Clasificación del índice de sinuosidad.**

Índice de sinuosidad	Clase
1,0 – 1,2	Rectilíneo
1,2 – 1,5	Transicional
1,5 – 1,7	Regular
1,7 – 2,1	Irregular
> 2,1	Tortuoso

*Fuente: Schumm, S.A., 1963*

- Densidad de drenaje (Dd): Es la relación entre la longitud de todos los cauces de la cuenca (km) y su área total (km<sup>2</sup>). Usualmente los valores varían entre 0,1 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre, y 7,6 km/km<sup>2</sup> para cuencas bien drenadas.
- Densidad de corrientes (Dc): Es la relación entre el número de corrientes de la cuenca y su total (km<sup>2</sup>).

Los parámetros morfométricos mencionados y calculados para las 27 cuencas del área de influencia se presentan en la Tabla 5-58.

---

<sup>75</sup> SCHUMM, S.A. Sinuosity of Alluvial Rivers in the Great Plains. Bulletin of the Geological Society of America, 74, 1089-1100. 1963.

**Tabla 5-58. Parámetros morfométricos de las cuencas del área de influencia abiótica.**

Cuenca	Punto de cierre Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Área (A)		P (km)	Lc (km)	B (km)	Kf	Kc	CMc (m)	Cmc (m)	Pc (%)	CMrp (m)	Cmrp (m)	Lrp (km)	Prp (%)	Is	Dd (km/ km <sup>2</sup> )	Dc (1/km <sup>2</sup> )
	Este	Norte	ha	km <sup>2</sup>															
Afluente sin nombre 1	4.700.570	2.202.779	166,74	1,67	9,15	3,90	0,47	0,13	2,00	1030,55	600,00	13,91	1000,00	600,00	3,90	10,27	1,17	4,92	4,20
Afluente sin nombre 2	4.700.814	2.202.750	76,58	0,77	3,74	1,57	0,53	0,37	1,21	745,78	600,00	12,76	736,00	600,00	1,57	8,66	1,13	2,95	2,61
Quebrada Dos Quebradas	4.701.526	2.202.344	381,60	3,82	13,94	6,69	0,69	0,12	2,01	2000,00	600,00	32,66	2000,00	600,00	6,69	20,93	1,22	4,94	5,77
Afluente sin nombre 3	4.701.975	2.202.108	60,73	0,61	3,43	1,06	0,40	0,27	1,24	760,95	600,00	12,94	700,00	600,00	1,06	9,43	1,12	2,70	1,65
Quebrada Las Palmeras	4.702.313	2.201.893	360,97	3,61	13,53	4,74	0,63	0,11	2,01	2000,00	600,00	31,53	2000,00	600,00	4,74	8,49	1,22	5,58	6,09
Afluente sin nombre 4	4.702.637	2.201.560	63,68	0,64	4,42	2,02	0,32	0,16	1,56	823,46	600,00	12,83	771,00	600,00	2,02	11,51	1,23	4,96	6,28
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	4.703.024	2.201.425	215,46	2,15	8,58	4,30	0,55	0,14	1,65	1119,30	600,00	14,50	1095,00	600,00	4,30	11,51	1,15	7,41	9,28
Afluente sin nombre 6	4.703.391	2.201.230	57,76	0,58	3,44	1,04	0,43	0,32	1,28	747,72	600,00	11,57	700,00	600,00	1,04	9,62	1,09	7,24	13,85
Afluente sin nombre 7	4.703.917	2.200.908	97,24	0,97	6,19	2,68	0,35	0,13	1,77	873,85	600,00	11,44	815,00	600,00	2,68	8,03	1,15	8,90	12,34
Afluente sin nombre 8	4.704.470	2.200.281	62,59	0,63	4,19	2,16	0,34	0,19	1,49	799,93	600,00	13,15	789,00	600,00	2,16	8,77	1,24	7,43	9,59
Quebrada el Campamento	4.705.838	2.199.784	334,89	3,35	9,50	3,42	0,93	0,26	1,46	700,00	600,00	5,07	700,00	600,00	3,42	2,92	1,22	6,13	12,24
Afluente sin nombre 9	4.705.094	2.199.934	114,82	1,15	5,09	2,68	0,52	0,24	1,34	685,79	600,00	2,69	658,00	600,00	2,68	2,15	1,31	4,90	6,97





**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN  
CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



Rev. No.: 4

2024-08-08

Cuenca	Punto de cierre Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Área (A)		P (km)	Lc (km)	B (km)	Kf	Kc	CMc (m)	Cmc (m)	Pc (%)	CMrp (m)	Cmrp (m)	Lrp (km)	Prp (%)	Is	Dd (km/ km <sup>2</sup> )	Dc (1/km <sup>2</sup> )
	Este	Norte	ha	km <sup>2</sup>															
Quebrada La Rosala	4.705.102	2.199.929	1.524,04	15,24	24,42	12,67	1,58	0,16	1,76	1449,24	600,00	10,09	1422,00	600,00	12,67	6,49	1,40	5,43	5,18
Quebrada La Ardita	4.703.970	2.200.920	1.681,76	16,82	21,65	11,98	1,85	0,20	1,49	1900,00	600,00	25,00	1834,00	600,00	11,98	10,30	1,33	4,38	3,98
Afluente sin nombre 10	4.703.292	2.201.424	52,88	0,53	3,47	1,54	0,38	0,28	1,34	700,00	600,00	6,50	700,00	600,00	1,54	8,56	1,18	6,23	7,56
Afluente sin nombre 11	4.702.990	2.201.552	69,27	0,69	5,12	2,15	0,30	0,13	1,73	862,72	600,00	12,84	784,00	600,00	2,15	5,63	1,14	5,74	4,33
Afluente sin nombre 12	4.702.717	2.201.642	16,19	0,16	2,23	0,98	0,16	0,15	1,56	670,23	600,00	6,77	655,00	600,00	0,98	5,63	1,09	6,08	6,18
Afluente sin nombre 13	4.702.484	2.201.913	58,67	0,59	4,08	2,14	0,32	0,17	1,50	813,81	600,00	14,68	800,00	600,00	2,14	9,35	1,27	6,61	5,11
Afluente sin nombre 14	4.702.269	2.202.129	13,32	0,13	1,91	0,60	0,07	0,04	1,48	654,57	600,00	7,16	618,00	600,00	0,60	33,33	1,17	7,91	15,02
Quebrada La Sapo	4.702.136	2.202.148	307,65	3,08	9,28	4,75	0,73	0,17	1,49	1427,54	600,00	27,71	1346,00	600,00	4,75	0,38	1,21	5,14	5,20
Afluente sin nombre 15	4.701.745	2.202.398	78,55	0,79	3,84	2,17	0,48	0,29	1,22	777,76	600,00	11,38	766,00	600,00	2,17	7,66	1,35	4,24	3,82
Quebrada La Tuntuna	4.700.864	2.202.840	756,53	7,57	17,07	7,66	1,24	0,20	1,75	1900,00	600,00	26,20	1900,00	600,00	7,66	16,97	1,26	4,89	5,55
Quebrada La Torre	4.699.640	2.203.018	871,79	8,72	17,77	6,24	1,60	0,29	1,70	1497,16	600,00	19,60	1443,00	600,00	6,24	13,51	1,16	4,66	4,59
Afluente sin nombre 16	4.699.333	2.203.205	62,68	0,63	3,97	1,76	0,37	0,22	1,42	800,00	600,00	12,98	746,00	600,00	1,76	8,27	1,23	5,20	4,79
Afluente sin nombre 17	4.709.471	2.201.531	23,53	0,24	2,37	1,03	0,22	0,20	1,38	768,00	700,00	0,00	700,00	750,00	1,03	0,00	1,12	4,42	4,25
Afluente sin nombre 18	4.709.602	2.200.597	104,93	1,05	4,41	1,63	0,68	0,44	1,21	700,00	625,06	5,25	700,00	625,06	1,63	4,60	1,38	4,97	8,58



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN  
CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**





Rev. No.: 4

2024-08-08

Cuenca	Punto de cierre Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Área (A)		P (km)	Lc (km)	B (km)	Kf	Kc	CMc (m)	Cmc (m)	Pc (%)	CMrp (m)	Cmrp (m)	Lrp (km)	Prp (%)	Is	Dd (km/ km <sup>2</sup> )	Dc (1/km <sup>2</sup> )
	Este	Norte	ha	km <sup>2</sup>															
Directos al río Cauca	4.699.204	2.203.159	437,32	4,37	29,41	N/A	0,63	N/A	N/A	766,15	600,00	3,86	N/A	600,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

*Área de la cuenca (A), Perímetro de la cuenca (P), Longitud axial de la cuenca (Lc), Ancho medio de la cuenca (B), Factor de forma de Horton (Kf), Coeficiente de compacidad (Kc), Cota mayor de la cuenca (CMc), Cota menor de la cuenca (Cmc), Pendiente media de la cuenca (Pc), Cota mayor de cauce principal (CMrp), Cota menor del cauce principal (Cmrp), Longitud de la corriente o cauce principal (Lrp), Pendiente de la corriente principal (Prp), Índice de sinuosidad (Is), Densidad de drenaje (Dd) y Densidad de corrientes (Dc).*

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A continuación, se muestra el análisis de los resultados de los parámetros morfométricos ilustrados en la Tabla 5-58 para cada una de las cuencas del área de influencia.

Como se puede evidenciar, según las características del factor de forma (Kf) enunciadas en la Tabla 5-59, la mayoría de las cuencas son alargadas, a excepción del afluente 18, cuyo factor de forma es el más próximo a la unidad por lo que podría ser la única cuenca con respuesta rápida a crecientes. Para las demás cuencas se espera que no sean propensas a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas simultáneamente en toda o gran parte de su superficie<sup>76</sup>.

**Tabla 5-59. Clasificación del factor de forma.**

<b>Kf</b>	<b>Característica</b>
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

*Fuente: Minambiente, 2019*

Por otro lado, según lo enunciado en la Tabla 5-58 respecto al índice de compacidad de Gravelius (Kc), se puede evidenciar que todas las cuencas tienen una forma oval redonda - oblonga o una forma oval oblonga – rectangular oblonga lo que implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual y por lo tanto no tenderán a presentarse represamientos dentro del cauce<sup>77</sup>, ya que mientras este índice esté más alejado de 1 la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento será menor<sup>78</sup>.

Según las características enunciadas en la Tabla 5-60, considerando la clasificación según MIAL<sup>79</sup> respecto al índice de sinuosidad (Is), se observa que las cuencas de estudio tienen cauces ligeramente sinuosos lo que implica que se genere ensanchamiento creciente del cauce y barras oblicuas, además de carga de fondo y suspensión mixta.

**Tabla 5-60. Clasificación del índice de sinuosidad.**

<b>Tipo de cauce</b>	<b>Sinuosidad</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Efecto</b>
Rectilíneo	<1,08	En suspensión mixta o carga de fondo	Genera ensanchamiento e incisión del cauce, barras oblicuas y longitudinales.
Ligeramente sinuoso	>1,05	Mixta	Genera ensanchamiento creciente del cauce e incisión y barras oblicuas.
	<1,50		

<sup>76</sup> CVC. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río La Vieja – Capítulo 7 Morfometría, 2019. p. 5-6.

<sup>77</sup> QUIJANO COSSIO, Juan Esteban. Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la cuenca Amagá, 2014. p.11.

<sup>78</sup> CVC. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río La Vieja – Capítulo 7 Morfometría, 2019. p. 6-7.

<sup>79</sup> MIAL, A. D. Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, 1977. p.859.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Tipo de cauce	Sinuosidad	Tipo de carga	Efecto
Meandriforme	>1,50	En suspensión o carga mixta	Incisión del cauce, ensanchamiento de los meandros y formación de barras puntuales.
Trenzado o "braided"	>1,30	Carga de fondo	Ensanchamiento del cauce, formación de barras centrales y diagonales.
Anastomosado	>2,0	Carga en suspensión	Lento ensanchamiento del meandro.

*Fuente: MIAL, 1977*

Según la clasificación que se muestra en la Tabla 5-61 de la pendiente media de la cuenca (Pc), las cuencas del área de influencia cuentan con relieves principalmente accidentados lo que indica que la tendencia a la creciente en periodos de tiempo corto es media. Las cuencas de las quebradas Dos Quebradas y Palmeras cuentan con un relieve fuertemente accidentado por lo que aumenta dicha tendencia. Por otro lado, las cuencas de la quebrada Campamentos y de los afluentes 9, 10, 12 y 18 presentan un relieve suave por lo que la tendencia a la creciente de dichos caños en tiempos relativamente cortos es muy baja.

**Tabla 5-61. Clasificación de la pendiente media.**

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Medianamente accidentado
12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado
35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

*Fuente: Minambiente, 2019*

#### 5.1.6.6 Patrones de drenaje

Los patrones de drenaje característicos de las cuencas se categorizaron de acuerdo con la clasificación establecida por autores como Howard<sup>80</sup> y Eagleson<sup>81</sup>, en los cuales se tienen

<sup>80</sup> Howard, A.D. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 51, 2246-2259. 1967.

<sup>81</sup> Eagleson, P. S. Dynamic hydrology. New York: McGraw-Hill. 1970.

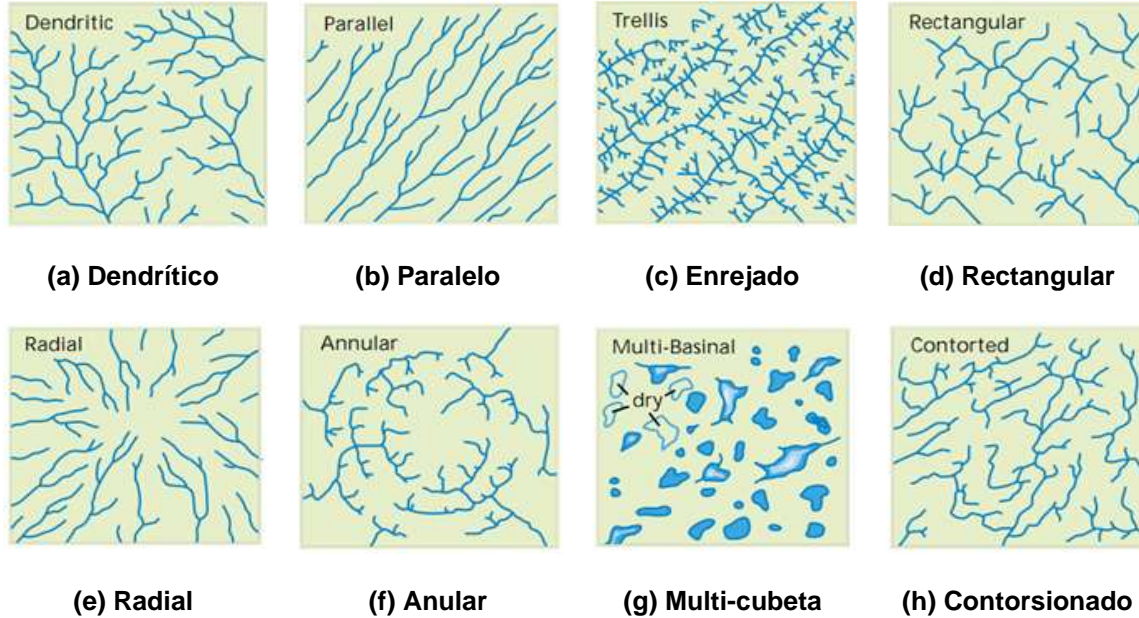
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

en cuenta factores climáticos y geológicos, para determinar los patrones de drenaje para las corrientes fluviales (ver Tabla 5-62 y Figura 5-43, respectivamente).

**Tabla 5-62. Clasificación de los patrones de drenaje.**

Clase	Descripción
a. Dendrítico	Materiales aproximadamente homogéneos en composición, sin control estructural. Constituye uno de los patrones más comunes y se presenta en muchos ambientes.
b. Paralelo	Terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone una dirección predominante con cauces paralelos. Este patrón es común en algunos piedemontes y laderas estructurales plegadas.
c. Enrejado	Es un drenaje paralelo al rumbo de las rocas sedimentarias plegadas y disectadas, las cuales presentan variaciones litológicas importantes; por ejemplo, rocas blandas o arcillosas y rocas duras o areniscas.
d. Rectangular	Patrón de drenaje anguloso como consecuencia de la presencia de materiales duros controlados por un sistema de fracturas o fallas geológicas.
e. Radial	Sistema de drenaje asociado a un domo o cono volcánico erosionado. Si el patrón es muy nítido, esto sugiere un volcán activo.
f. Anular	Patrón similar al anterior, que indica una etapa avanzada de erosión en domo o caldera volcánica.
g. Multicubeta	Patrón irregular de mal drenaje, asociado a depósitos superficiales ondulados con posible influencia de calizas. Este patrón es común en las llanuras de desborde.
h. Contorsionado	Patrón aparentemente irregular, asociado con rocas metamórficas y frecuentemente con influencia de captura (una cuenca pierde parte de su drenaje a expensas de otra).

*Fuente: Howard, A.D. 1967*



**Figura 5-43. Clasificación de los patrones de drenaje.**

*Fuente: Eagleson, P.S. 1970*

Los sistemas hidrográficos o patrones de drenaje describen las formas como los tributarios están conectados el uno al otro y a la corriente principal. Este entramado fluvial posee influencias heredadas de controles estructurales y litológicos que influyen en el grado de disección del paisaje resultante, según Einsele<sup>82</sup>.

De acuerdo con Botero<sup>83</sup>, se pueden presentar dos tipos de control en los patrones de drenaje: uno litológico, debido a las condiciones estructurales de los materiales sobre los cuales se desarrolla el patrón; y otro topográfico, en el que la pendiente del terreno obliga a las corrientes a tomar una determinada dirección.

En las cuencas de estudio las corrientes poseen tipos de drenaje **dendrítico** y **paralelo**, probablemente controlados por procesos litológicos, lo que les permite dirigir el caudal de forma más rápida hacia el cauce principal del río Cauca, este último con un patrón de drenaje dominado por la pendiente que dirige las aguas del sur hacia el norte.

Los parámetros de Dd y Dc permiten identificar la respuesta de la cuenca, pues entre mayor sea la densidad de corrientes indica una mayor ramificación de la cuenca y por lo tanto se puede esperar una rápida respuesta a un evento de lluvia. Dado lo anterior, se esperaría

<sup>82</sup> NICHOLS, G. EINSELE G. Sedimentary Basins. Evolution, Facies, and Sediment Budget. Berlin. Geological Magazine, 131(4), 568–570. 1992.

<sup>83</sup> BOTERO. P. J. Interpretación de imágenes para estudios de suelos. 1978.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

que los afluentes sin nombre 5, 6, 7, 8 y 14 presenten respuestas más inmediatas ante un evento de precipitación, pues tienen mayores valores en la densidad de drenaje.

Contrario a lo anterior, las bajas densidades de drenaje, dan indicios de que los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables y la pendiente es baja, en este caso los afluentes sin nombre 2, 3 o 15, son cuencas pequeñas y poco ramificadas. La densidad de drenaje que presenta valores medios a altos refleja áreas con suelos de relativa facilidad de ser erosionados o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal.

#### **5.1.6.7 Análisis de consistencia, homogeneidad y llenado de datos**

Para el estudio hidrológico y climatológico se empleó información de las estaciones climatológicas del IDEAM, a las cuales se les realizó un tratamiento de datos para garantizar la calidad de la información y completar los registros en los casos que sea viable.

Para este análisis se seleccionaron las estaciones cercanas al área de influencia y se realizó un descarte inicial según el año de instalación y suspensión. Posteriormente, se realizó un segundo descarte considerando el porcentaje de datos faltantes dentro del periodo de registro. A las estaciones restantes se les realizó el análisis de consistencia y homogeneidad, empleando criterios visuales y diferentes pruebas estadísticas para detectar posibles cambios en la media y varianza.

A las estaciones determinadas como consistentes y homogéneas se les realizó llenado de datos para que cumplan los criterios de calidad y extensión necesarias para representar las características hidroclimatológicas. A continuación, se presenta el resultado del análisis de consistencia y homogeneidad para las estaciones finalmente seleccionadas para este estudio.

##### **5.1.6.7.1 Estaciones hidrometeorológicas de estudio**

Las estaciones empleadas para el estudio, propiedad del IDEAM, son presentadas en la Tabla 5-63.

En la Figura 5-44 se presentan gráficamente los registros existentes para cada estación, en la que se verifica visualmente que durante el periodo de tiempo evaluado se escogieron adecuadamente las estaciones que tenían un periodo de registro continuo y que no superaran el 10% de datos faltantes<sup>84</sup>.

<sup>84</sup> CASTRO, L. M., & CARVAJAL, Y. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal. 2010.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08



#### 5.1.6.7.2 Análisis exploratorio

Para realizar un filtrado inicial de las estaciones según la continuidad y homogeneidad de la información, se realizó el cálculo del porcentaje de datos faltantes y aquellas estaciones con deficiente información se descartaron. Así mismo, se realizaron las curvas de dobles masas que sirven de criterio visual para la selección de estaciones.

- Porcentaje de datos faltantes

Se calculó el porcentaje de datos faltantes dentro del periodo de registro para cada estación, con el fin de determinar cuáles, a pesar de cumplir con una longitud de registro superior a 10 años, no son considerados continuos. En la Figura 5-44 y Tabla 5-64 se presenta los resultados de datos faltantes para las estaciones seleccionadas, donde la columna denominada Años, confirma para cada estación la cantidad de registros en años dentro del periodo de estudio, 1985 a 2020.

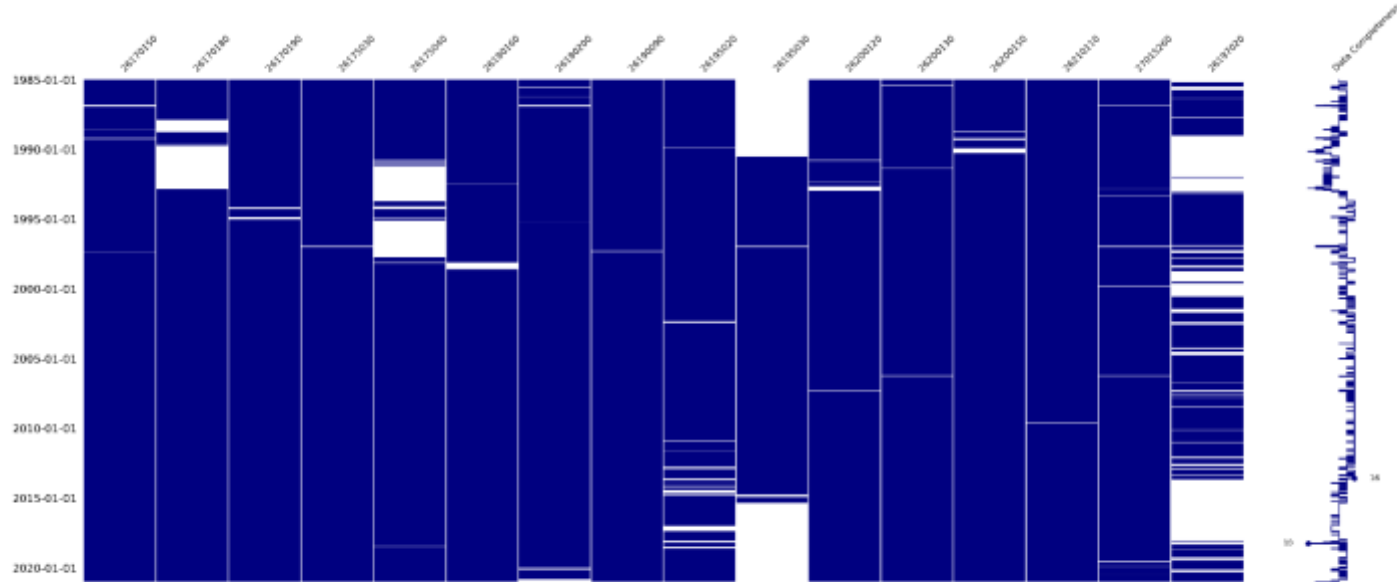


	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-63. Estaciones climatológicas.**

Código	Nombre	Categoría	Fecha	Fecha	Cota (msnm)	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Municipio
			Instalación	Suspensión		Este	Norte	
26170180	Caramanta	Pluviométrica	10/15/1970	N/A	850	4.707.471	2.171.678	Caramanta
26195030	Jardín El	Climática Ordinaria	6/15/1990	N/A	25	4.689.841	2.176.172	Jardín
26195020	Ita Andes	Climática Ordinaria	7/15/1970	N/A	1180	4.681.068	2.187.640	Andes
26175030	Nacional Granja La	Climática Principal	7/15/1977	N/A	1153	4.702.059	2.190.452	Támesis
26190090	Betania-Las Guacas	Pluviométrica	10/15/1970	N/A	1600	4.670.542	2.194.775	Betania
26180160	Abejorral	Pluviométrica	5/15/1970	N/A	2450	4.730.952	2.197.915	Abejorral
26170150	Pueblorrico	Pluviométrica	9/15/1970	N/A	2100	4.685.712	2.198.687	Pueblorrico
26175040	Tunez Hacienda	Climática Ordinaria	4/15/1975	N/A	604	4.706.528	2.199.603	Fredonia
26170190	Dique El	Pluviométrica	9/15/1970	N/A	1140	4.698.482	2.200.041	Jericó
26210110	Penalisa	Pluviométrica	4/15/1971	N/A	2100	4.683.316	2.214.615	Salgar
26200150	Fredonia	Pluviométrica	3/15/1975	N/A	1650	4.702.818	2.214.720	Fredonia
26180200	Montebello	Pluviométrica	10/15/1970	N/A	560	4.719.247	2.216.201	Montebello
26200130	Bolombolo	Pluviométrica	5/15/1980	N/A	1700	4.685.433	2.218.240	Venecia
27015260	Salada La	Agrometeorológica	7/15/1984	N/A	1923	4.709.572	2.227.034	Caldas
26200120	Otramina	Pluviométrica	10/15/1970	N/A	515	4.690.769	2.229.847	Titiribí
26197020	Brasilia	Limnigráfica	10/15/1970	N/A	670	4.674.522	2.203.053	Ciudad Bolívar

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-44. Representación gráfica de registros existentes y faltantes estaciones climatológicas.**

*Fuente: SAG, 2024*

**Tabla 5-64. Longitud de registro y porcentaje de datos faltantes de las estaciones de estudio.**

Estación	Nombre	Faltantes 1985-2020 (%)	Años
26170150	Pueblorrico	0,81	35
26170180	Caramanta	15,43	35
26170190	Dique El	0,98	35
26175030	Nacional Granja La	0,46	35
26175040	Tunez Hacienda	22	35
26180160	Abejorral	2,11	35
26180200	Montebello	0,7	35
26190090	Betania-Las Guacas	0,35	35
26195020	Ita Andes	0,68	35
26195030	Jardín El	21,56	24
26200120	Otramina	1,86	35
26200130	Bolombolo	0,45	35
26200150	Fredonia	2,37	35
26210110	Penalisa	0,49	35
27015260	Salada La	1,06	35
26197020	Brasilia	29,42	35

*Fuente: SAG, 2024*

- Método gráfico de curvas de dobles masas

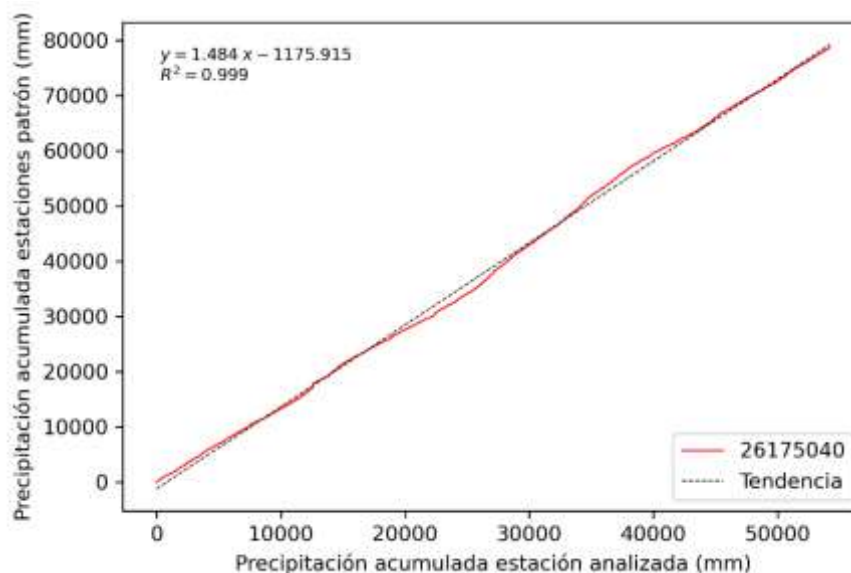
Inicialmente se realizó una revisión gráfica de las series de tiempo. Con este procedimiento es posible detectar problemas de medición en algunas series, que pueden ser corregidos antes de realizar el procedimiento de análisis de calidad numérico. La serie de precipitación diaria se muestra en la Figura 5-45.

Con este método se analiza la consistencia de las series de valores de algún elemento hidroclimatológico medido en la estación “X”, con base en los datos tomado en otra estación o grupo de estaciones “Y”. Este sistema de homogenización de series se utiliza cuando puede suceder un cambio relativo de una variable observada, medida o registrada en una estación. Graficando estas dos variables observamos si se presenta un cambio de pendiente, el cual sólo puede deberse a causas diferentes a las meteorológicas, de acuerdo con el IDEAM<sup>85</sup>.

En la Figura 5-45 se presenta la curva de dobles masas de la estación Tunez Hacienda (26175040), donde ambas curvas siguen la tendencia lo que indica que se trata de una zona meteorológicamente homogénea, ya que los valores de precipitación que ocurren

<sup>85</sup> IDEAM. Técnicas Estadísticas Aplicadas en el Manejo de Datos Hidrológicos y Meteorológicos. 1990.

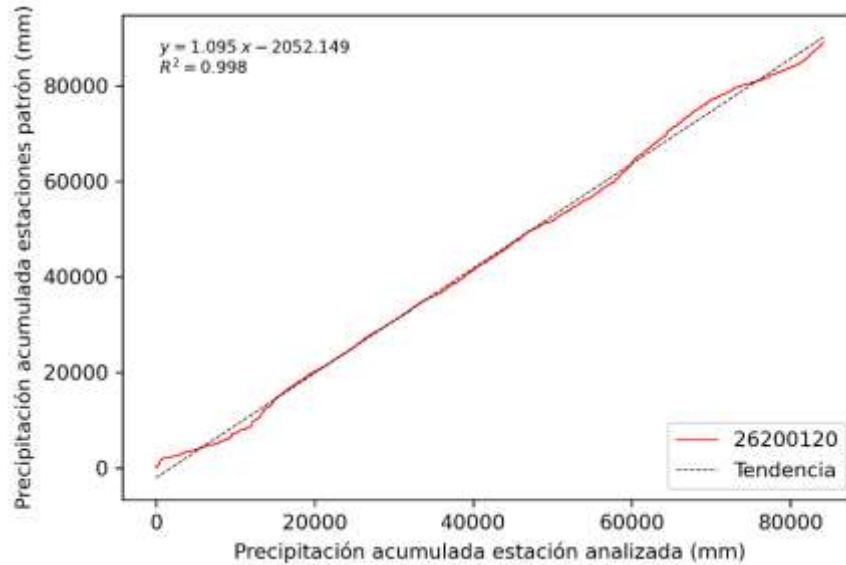
guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente. Sin embargo, hay algunas estaciones que pueden presentar un comportamiento atípico en donde la curva de doble masas entre las estaciones comparadas diverge al finalizar o iniciar la curva de tendencia (zona no homogénea).



**Figura 5-45. Curva de dobles masas de la estación Túnez Hacienda (26175040).**

*Fuente: SAG, 2024*

En la Figura 5-46 se presenta la curva de dobles masas para la estación La Salada (27015260), la cual presenta una leve variación en a la tendencia de ambas series y es la única estación que tiene un comportamiento de este tipo explicado por un posible cambio de sensor, reubicación de la estación o daños en el sistema de medición. Las otras 14 estaciones presentan un ajuste con un  $R^2$  mayor a 0,99, las cuales se presentan en el ANEXO\_5\_1\_3\_CURVA\_DOBLE\_MASAS.



**Figura 5-46. Curva de doubles masas de la estación La Salada (27015260).**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.6.7.3 Análisis numérico

El análisis numérico de la calidad de la información se realizó aplicando a los registros de las estaciones un conjunto de pruebas estadísticas que permiten detectar, usando un criterio objetivo y cuantitativo, las anomalías en las series de precipitación. Las anomalías detectadas con estas pruebas pueden deberse a fenómenos extremos naturales, intervenciones antrópicas o errores de medición. Sólo en el último de los casos es correcto corregir las series, por lo que se analizó detalladamente y caso por caso el resultado de cada prueba.

Las distribuciones estadísticas empleadas fueron calculadas empleando el paquete Scipy de Python, específicamente la librería stats. En ella es posible calcular las funciones de densidad de probabilidad de distribuciones tales como T, F, Anderson y Normal.

Como la mayoría de las pruebas están diseñadas para variables aleatorias normalmente distribuidas se acude a la propiedad que establece el teorema del límite central<sup>86</sup>, por la que la función de distribución de masa de probabilidad de series independientes, que resultan de la agregación de muestras de gran tamaño de variables aleatorias con cualquier distribución (como se construyen las series de precipitación anuales, por ejemplo), se aproxima a una función de distribución gaussiana o normal.

<sup>86</sup> OROZCO, C. A. T., & SÁNCHEZ, J. R. B. (2017). Influencia de la asimetría en el tamaño de la muestra para el cumplimiento del teorema central del límite en distribuciones continuas. Scientia et Technica. 2017.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

De esta forma, se realizaron las pruebas de homogeneidad a las series agregadas anualmente. También se realizaron pruebas de detección de outliers, que se aplicaron a las series en la menor resolución disponible, ya que al agregar la serie se pueden suavizar los datos espurios. Los métodos estadísticos aplicados a las series para el análisis numérico de la calidad se describen a continuación:

- Prueba de normalidad de la serie

Se evaluará la normalidad de las series de tiempo usando la prueba de Shapiro-Wilk, la cual es ampliamente usada para tamaños muestrales inferiores a 50. Para efectuarla se calcula la media y la varianza muestral,  $S^2$ , y se ordenan las observaciones de menor a mayor. A continuación, se calculan las diferencias entre: el primero y el último; el segundo y el penúltimo; el tercero y el antepenúltimo, etc. y se corrigen con unos coeficientes tabulados por Shapiro y Wilk. El estadístico de prueba es:

$$W = \frac{D^2}{nS^2}$$

Donde:

- D es la suma de las diferencias corregidas
- W es el estadístico

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores Shapiro-Wilk<sup>87</sup> para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

En la Tabla 5-65 se presenta el resumen de los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la precipitación media de las estaciones de estudio, donde se realizó la prueba para los datos de precipitación media anual y para la estación Brasilia se evaluó caudal medio diario. En varias de las estaciones hidrometeorológicas analizadas, tal como se espera de datos provenientes de fenómenos climáticos, es difícil encontrar una tendencia de distribución “normal”, especialmente porque la precipitación responde a diferentes variables externas aleatorias, en tal caso, muchos fenómenos de la naturaleza se consideran como datos provenientes de distribuciones “no normales”, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de aplicar pruebas paramétricas, las cuales hacen suposiciones sobre la distribución de la serie evaluada. En este apartado se combinan varios descriptores estadísticos para finalmente escoger las estaciones apropiadas.

---

<sup>87</sup> SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. 1965.

**Tabla 5-65. Resultados test de normalidad Shapiro-Wilk para las estaciones de estudio abiótica.**

Estación	Nombre	Estadístico	Valor P	Resultado
26170150	Pueblorrico	0,97	0,36	Normal
26170180	Caramanta	0,88	0,00	No normal
26170190	Dique El	0,96	0,15	Normal
26175030	Nacional Granja La	0,91	0,01	No normal
26175040	Tunez Hacienda	0,90	0,01	No normal
26180160	Abejorral	0,98	0,59	Normal
26180200	Montebello	0,88	0,00	No normal
26190090	Betania-Las Guacas	0,96	0,29	Normal
26195020	Ita Andes	0,96	0,16	Normal
26195030	Jardín El	0,98	0,87	Normal
26200120	Otramina	0,94	0,07	Normal
26200130	Bolombolo	0,9	0,00	No normal
26200150	Fredonia	0,95	0,09	Normal
26210110	Penalisa	0,96	0,18	Normal
27015260	Salada La	0,97	0,31	Normal
26197020	Brasilia	0,83	0,00	No normal

Fuente: SAG, 2024

- Prueba de cambios en la varianza de la serie

Se detectarán los cambios en la varianza de la serie usando la prueba F, para la identificación de cambios en la varianza, considerando lo descrito en su libro por Devore<sup>88</sup>. Con esta prueba se evaluó la hipótesis nula de varianzas iguales en 2 series creadas a partir de la división de la serie estudiada en 2 subseries, cada una con un tamaño mínimo de 5 años. Se realizó la prueba para cada par posible de series según la longitud de registro.

El estadístico de prueba se obtiene con la expresión:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

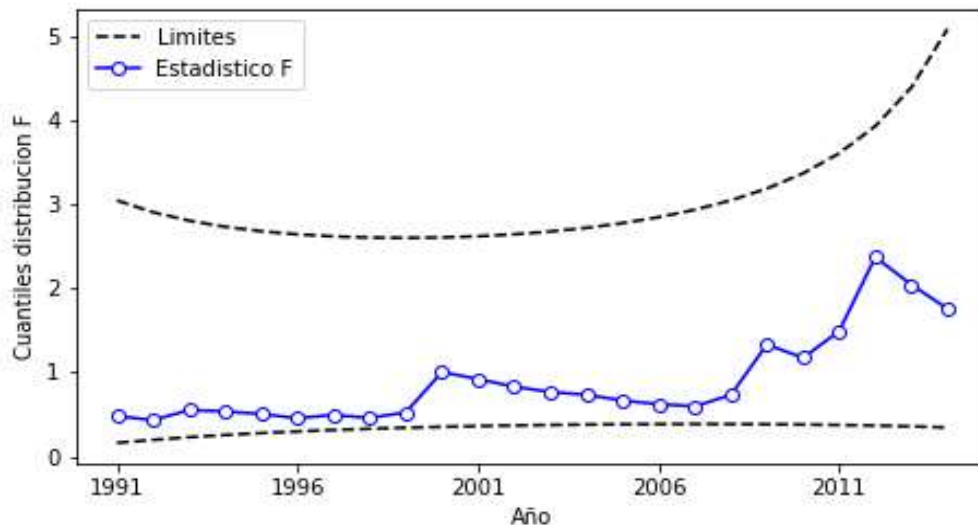
Con alternativa nula donde las varianzas son iguales e hipótesis alternativas donde las varianzas son distintas. La región de rechazo es tal que  $F \geq f_{\frac{\alpha}{2}, m-1, n-1}$  o  $F \leq f_{1-\frac{\alpha}{2}, m-1, n-1}$

<sup>88</sup> DEVORE, J. L. Probability and statistics for engineers and the sciences. Cole Publishing Co., Monterey, CA. 1982.

donde  $s_1^2$  y  $s_2^2$  representan las varianzas y  $m$  y  $n$  representan las longitudes de las subseries.

Se realizó la prueba para los datos de precipitación media anual y para la estación de caudal Brasilia se evaluó caudal medio diario. En varias de las estaciones hidrometeorológicas analizadas, tal como se espera de datos provenientes de fenómenos climáticos, es difícil encontrar una tendencia de distribución “normal”, especialmente porque la precipitación responde a diferentes variables externas aleatorias, en tal caso, muchos fenómenos de la naturaleza se consideran como datos provenientes de distribuciones “no normales”, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de aplicar pruebas paramétricas, las cuales hacen suposiciones sobre la distribución de la serie evaluada.

En este capítulo se combinan varios descriptores estadísticos para finalmente escoger las estaciones apropiadas. En la Figura 5-47, demuestran por ejemplo en la estación Betania las Guacas cómo se da la fluctuación de los datos de varianza durante el periodo de tiempo estudiado, allí se evidencia que este valor se mantiene entre las bandas de confianza durante el periodo evaluado (1991 a 2014). Al igual que esta estación las demás estaciones evaluadas mantienen el valor de su varianza dentro de las bandas de confianza establecidas, por lo que se establece que no presentan un cambio en la varianza de la serie de precipitación. Los resultados de la prueba F de cambio en la varianza para las demás estaciones se presentan en el ANEXO\_5\_1\_4\_VARIANZA\_F\_TEST.



**Figura 5-47. Prueba F de cambio en la varianza de la estación Betania Las Guacas (26190090).**

Fuente: SAG, 2022



- Prueba de cambio en la media

Se usa la prueba T de dos colas para muestras con varianzas diferentes, como se explica en Devore<sup>89</sup>. Con esta prueba se evaluó la hipótesis nula de medias iguales en 2 series creadas a partir de la división de la serie estudiada en 2 subseries, cada una con un tamaño mínimo de 5 años. Se realizó la prueba para cada par posible de series según la longitud de registro.

El estadístico de prueba está dado por la expresión:

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{m} + \frac{s_2^2}{n}}}$$

Con hipótesis nula de igualdad en las medias e hipótesis alternativa de medias distintas. La región de rechazo está dada para  $T \geq t_{\alpha/2,v}$  ó  $T \leq -t_{\alpha/2,v}$  donde v se obtiene al obtener la parte entera de la siguiente expresión:

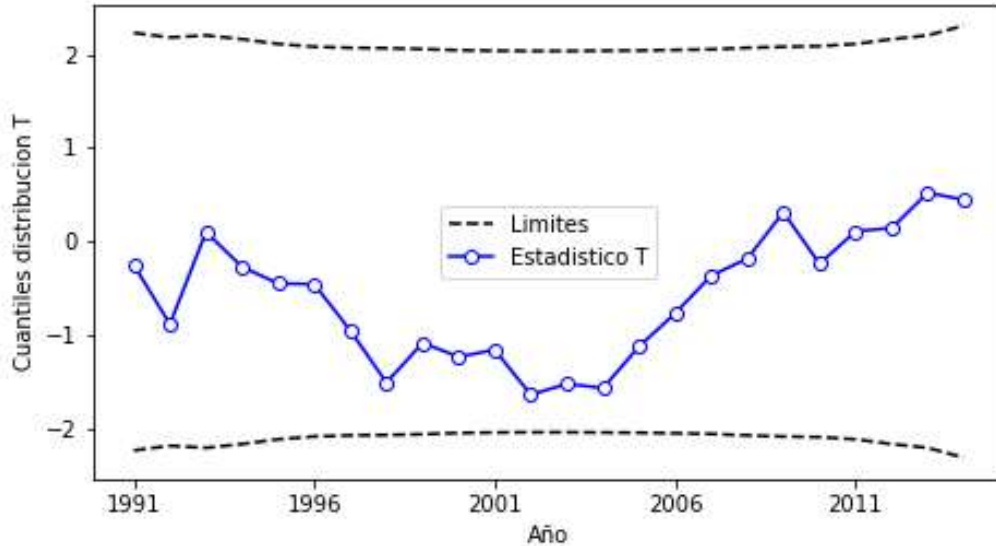
$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{m} + \frac{s_2^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n}\right)^2}{n-1}}$$

Donde:

- $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  representan las medias
- $s_1^2$  y  $s_2^2$  representan las varianzas
- $m$  y  $n$  representan la longitud de las subseries

Se realizó la prueba para los datos de precipitación media anual y para la estación Brasilia se evaluó caudal medio diario. A partir de los resultados mostrados en la Figura 5-48 se observa que hay lapsos de tiempo en los cuales hay un cambio significativo en las medias de las series de tiempo tomada, siendo esta diferencia mayor para las series antes y después de 2005. Los resultados de la prueba T de cambio en la media para las demás estaciones se presentan en el ANEXO\_5\_1\_5\_CAMBIO\_T\_TEST.

<sup>89</sup> DEVORE, J. L. Probability and statistics for engineers and the sciences. Cole Publishing Co., Monterey, CA. 1982.



**Figura 5-48. Prueba T de cambio en la media estación Montebello (26180200).**

Fuente: SAG, 2024

- Prueba Pettit

Permite evaluar un punto de cambio en la media cuando la distribución inicial es desconocida, para registros continuos, donde la hipótesis nula es la de no cambio, según Pettitt<sup>90</sup> y Pohlert<sup>91</sup>.

El estadístico no paramétrico está definido como:

$$K_T = \max|U_{t,T}|$$

Donde

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j)$$

El punto de cambio de la serie es localizado en  $K_T$ , siempre que el estadístico sea significativo. La probabilidad de significancia de  $K_T$  se aproxima en  $p \leq 0,005$  con

$$p \approx 2 \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right)$$

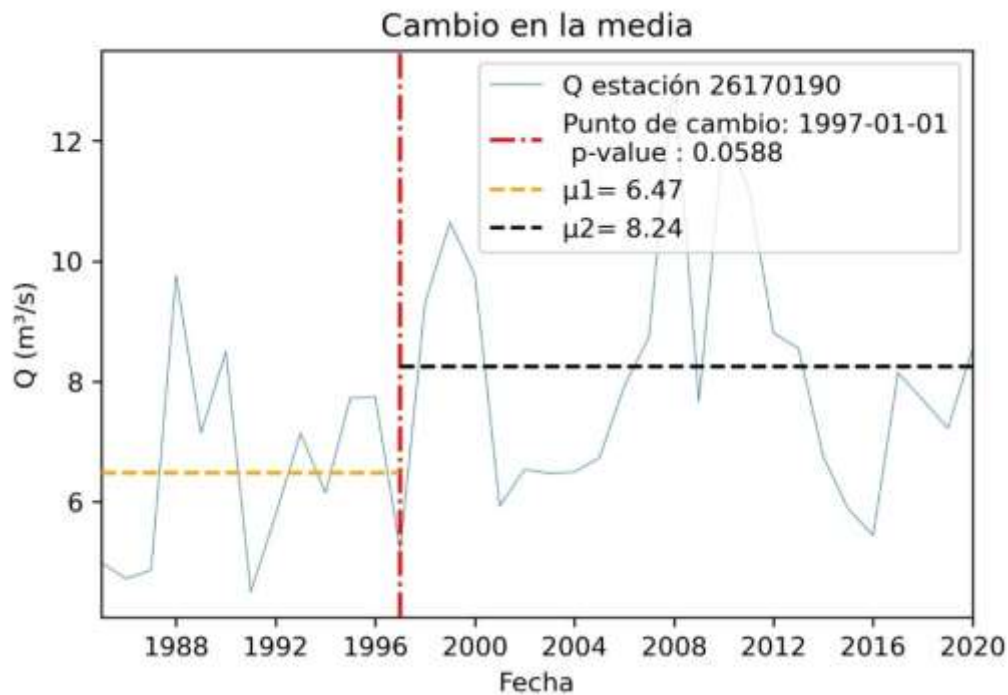
<sup>90</sup> PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28(2), 126–135. 1979.

<sup>91</sup> POHLERT, T. Non-parametric trend tests and change-point detection. CC BY-ND, 4. 2016.

Se realizó la prueba para los datos de precipitación media anual y para la estación Brasilia se evaluó caudal medio diario.

A continuación, en la Figura 5-49 se puede ver gráficamente el punto más posible de cambio de la serie para los valores de precipitación media anual, localizado en  $K_T$ , para la estación El Dique. Esta estación presenta un p-value significativo (33%), con lo que se puede determinar que el comportamiento de la serie es homogéneo y que no existe cambio en la media.

Por otro lado, están las estaciones cuya media  $\mu_1$  y  $\mu_2$  cambia a partir de un punto más probable de quiebre, el cual es evaluado estadísticamente para concluir si es significativo o no. En caso de confirmarse la no homogeneidad, estas estaciones no serían aptas para el análisis de frecuencia, por tanto, serán descartadas finalmente del análisis hidrológico: Briceño, Carmen la Hacienda, Cruces Arriba, La Selva, Los Llanos De Cuiba, Marinilla, Meseta San Pedro, Montañitas, La Placita, San Isidro y Zaragoza. Los resultados para todas las estaciones evaluadas se presentan en el ANEXO\_5\_1\_6\_PRUEBAS\_PETTIT, mientras que en la Figura 5-49 se muestra, a modo de ejemplo, el cambio en la media para la estación El Dique.



**Figura 5-49. Prueba de Pettit para evaluación de cambio en la media en la estación El Dique (26170190).**

Fuente: SAG, 2024

- Prueba de tendencia en la media de la serie

Se emplean las pruebas de tendencia para determinar si es estadísticamente confiable afirmar que la serie de datos presenta tendencia creciente o decreciente a lo largo del rango. Se emplea la prueba de Mann – Kendall cuya idea es reconocer las series con tendencia monótona, es decir, creciente o decreciente.

Se considera como hipótesis nula  $H_0$ : los datos no presentan tendencia, y se contrasta con la hipótesis alternativa  $H_1$ : los datos siguen una tendencia. Se calcula una serie de signos de cada dato con respecto a los siguientes para obtener el estadístico de la prueba.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Donde:

$$\text{sgn}(\theta) = \{1 \quad \text{si } \theta > 0 \quad 0 \quad \text{si } \theta = 0 \quad -1 \quad \text{si } \theta < 0$$

Se calcula la varianza del estadístico S, teniendo en cuenta los datos repetidos:

$$\sigma^2 = \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right] / 18$$

El estadístico S se distribuye de manera normal, por lo que se normaliza:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Si el valor obtenido de Z supera un umbral definido que depende de la confiabilidad deseada, se rechaza la hipótesis nula y, por lo tanto, se acepta que la serie tiene una tendencia significativa, dicho umbral se obtiene de la tabla de distribución normal con una significancia de ( $\alpha = 0,05$ ).

Los resultados al aplicar la prueba de Mann-Kendall a la precipitación agregada se resumen en la Tabla 5-66, donde se evidencia para cada estación si el valor p es mayor al límite de significancia considerado y por tanto se acepta la hipótesis nula de la no existencia de tendencia en la media de la serie. Sin embargo, la prueba sería rechazada para un valor de significancia mayor ( $\alpha = 0,10$ ).

**Tabla 5-66. Prueba Mann-Kendall de tendencia en la media para los valores de precipitación media anual.**

Código	Nombre	S	Var(s)	Valor-p (bilateral)	Resultado
26170150	Pueblorrico	62	5.390	0,41	Sin tendencia
26170180	Caramanta	111	4.550,33	0,10	Sin tendencia
26170190	Dique El	150	5.390	0,04	Creciente

Código	Nombre	S	Var(s)	Valor-p (bilateral)	Resultado
26175030	Nacional Granja La	98	5.390	0,19	Sin tendencia
26175040	Tunez Hacienda	71	4.550,33	0,30	Sin tendencia
26180160	Abejorral	78	5.390	0,29	Sin tendencia
26180200	Montebello	92	5.390	0,22	Sin tendencia
26190090	Betania-Las Guacas	117	5.389	0,11	Sin tendencia
26195020	Ita Andes	150	5390	0,04	Creciente
26195030	Jardín El	-73	2.058,33	0,11	Sin tendencia
26200120	Otramina	24	5.390	0,75	Sin tendencia
26200130	Bolombolo	92	5.390	0,22	Sin tendencia
26200150	Fredonia	32	5.390	0,67	Sin tendencia
26210110	Penalisa	182	5.390	0,01	Creciente
27015260	Salada La	80	5.390	0,28	Sin tendencia
26197020	Brasilia	87	3.461,67	0,14	Sin tendencia

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.7.4 Resultados del análisis

Luego de realizar las pruebas estadísticas y el análisis exploratorio, se resumen los resultados obtenidos en la Tabla 5-67.

**Tabla 5-67. Resultados pruebas estadísticas de calidad de la información.**

Estación	Nombre	Faltantes (%)	Apta	Comentario
26170150	Pueblorrico	0,81	Sí	-
26170180	Caramanta	15,43	Sí	-
26170190	Dique El	0,98	Sí	-
26175030	Nacional Granja La	0,46	Sí	-
26175040	Tunez Hacienda	22,00	Sí	-
26180160	Abejorral	2,11	Sí	-
26180200	Montebello	0,70	Sí	-
26190090	Betania-Las Guacas	0,35	Sí	-
26195020	Ita Andes	0,68	Sí	-
26195030	Jardín El	21,56	Sí	-
26200120	Otramina	1,86	Sí	-
26200130	Bolombolo	0,45	Sí	-
26200150	Fredonia	2,37	Sí	-
26210110	Penalisa	0,49	Sí	-
27015260	Salada La	1,06	Sí	-
26197020	Brasilia	29,42	Sí	-

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Los reportes de resultados de las pruebas independencia y Pettit realizadas para el análisis de consistencia se pueden consultar en el ANEXO\_5\_1\_7\_PRUEBAS\_INDEPEN y ANEXO\_5\_1\_6\_PRUEBAS\_PETTIT. Finalmente, las estaciones que se escogieron para el análisis hidrológico (mapa de precipitación) fueron aquellas estaciones que tenían una influencia dentro de la cuenca, según el criterio de polígonos de Thiessen, y cuyos datos presentaron consistencia y homogeneidad en los diferentes análisis presentados en la Tabla 5-67.

Se puede concluir que todas las pruebas estadísticas son complementarias y brindan información diferente sobre la calidad de los datos. Aunque inicialmente 32 estaciones parecían aptas para su uso en el análisis hidrológico, finalmente 15 de precipitación y la estación de caudal Brasilia son aptas para el análisis.

#### 5.1.6.7.5 Llenado de datos faltantes

Para llenar los datos faltantes de las estaciones climatológicas y de precipitación a escala mensual, se tomaron las estaciones resultantes del análisis de consistencia y homogeneidad: Caramanta, Jardín El, Ita Andes, Nacional Granja La, Betania-Las Guacas, Abejorral, Pueblorrico, Tunez Hacienda, Dique El, Penalisa, Fredonia, Montebello, Bolombolo, Salada La, Otramina y Brasilia.

Inicialmente, se identifican las estaciones cercanas a la correspondiente de la serie a completar, teniendo como límite 30 km de distancia.

- Una vez identificadas las estaciones auxiliares, se procede a la construcción de regresiones lineales entre la serie a llenar y cada serie auxiliar.
- Posteriormente, para aquellos datos que quedaron faltando se realiza un análisis exploratorio de correlación cruzada entre las diferentes estaciones, dicho análisis permitirá identificar la covarianza estadística entre las series de precipitación con el ánimo de identificar para cada estación varias estaciones auxiliares (mínimo tres) que sirvan para el llenado de datos, el criterio para la selección y jerarquización de las estaciones auxiliares estará dado por la magnitud del coeficiente de correlación, el cual se considerará significativo cuando sea superior a 0,7.
- Las regresiones serán usadas para llenar los datos faltantes cuando exista información en las estaciones auxiliares, en caso de no existir dicha información el dato faltante será reemplazado por el valor medio mensual multianual de la serie temporal.

Para el caso de los datos diarios de precipitación diaria:

- Si la precipitación media anual entre las estaciones circundantes difiere en menos del 10% de la registrada en la estación en estudio, los datos faltantes serán estimados mediante un promedio aritmético.
- Si la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones circundantes difiere en más del 10% se usa la siguiente fórmula:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

$$h_{px} = \frac{1}{n} \left[ \frac{p_x}{p_1} h_{p1} + \frac{p_x}{p_2} h_{p2} + \dots + \frac{p_x}{p_n} h_{pn} \right]$$

Donde:

- $h_{pi}$ : Altura de precipitación registrada el día o mes en cuestión en la estación auxiliar  $i$ .
- $h_{px}$ : Altura de precipitación faltante en la estación de estudio.
- $p_i$ : Valor de la precipitación media multianual en la estación auxiliar  $i$ .
- $p_x$ : Valor de la precipitación media multianual en la estación de estudio

#### 5.1.6.8 Análisis de información hidroclimatológica

Las condiciones hidroclimáticas del área de influencia abiótica, se describieron con base en la información disponible del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a partir de los registros históricos de las estaciones más cercanas.

A continuación, se presenta el resumen de la metodología de la caracterización de las estaciones climatológicas, la cual es profundizada en las variables precipitación, temperatura y evapotranspiración, así como las estaciones del IDEAM empleadas.

La distribución espacial de la precipitación temperatura se realizó a través del método de interpolación geoestadístico Kriging a partir de las características medias a largo plazo de las variables en los registros de las estaciones hidroclimatológicas, permitiendo así determinar el promedio aritmético en diferentes coordenadas y más adelante en los polígonos de las cuencas hidrográficas. Para los promedios mensuales multianuales y valores multianuales se realizó un promedio aritmético de los valores en los registros de las estaciones.

Para las variables temperatura y evapotranspiración se emplearon ecuaciones que dependen de la región, altura y climatología, permitiendo obtener espacialmente la distribución de estas variables climatológicas.

##### 5.1.6.8.1 Precipitación

Los valores de precipitación media anual y mensual se presentan en el numeral 5.1.11.3.3. A continuación, se relaciona la distribución espacial de la precipitación media anual multianual

##### 5.1.6.8.1.1 Distribución espacial de la precipitación media anual multianual (P)

A partir de los valores medios anuales multianuales de precipitación de 16 estaciones del IDEAM que operan cerca del área de influencia (ver Tabla 5-68) se realizó una interpolación gráfica de los datos mediante la utilización de la herramienta KRIGING

disponible en el software ArcGIS 10.8, y se generó el mapa con la variación espacial de la precipitación media anual. Adicionalmente, con la herramienta CONTOUR, se generaron las líneas (isoyetas) cada 100 mm/año.

La herramienta KRIGING, es una técnica de interpolación que se basa en el análisis de la estructura geoestadística de variación de la variable. Es decir, se apoya en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio. Así, la forma del semivariograma obtenido, indica la capacidad de predicción que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto.

El método Kriging es similar al de Ponderación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés) en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(s_i)$$

Donde:

- $z(s_i)$ : Valor medido en la ubicación  $i$ .
- $\lambda_i$ : Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación  $i$ .
- $s_0$ : Ubicación de la predicción.
- $N$ : Cantidad de valores medidos.

En IDW, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende exclusivamente de la distancia a la ubicación de la predicción. Sin embargo, con el método KRIGING, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada. Por lo tanto, en un Kriging ordinario, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción.

El resultado final del KRIGING es un mapa con los valores interpolados de la variable. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas, la geoestadística permite representar en el espacio (en forma de varianza o desviación estándar) el grado de incertidumbre o de cada interpolación. Por tanto, a cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distribución teórica, lo que además permite la posibilidad de realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del Kriging como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor<sup>92</sup>.

<sup>92</sup> ZUCARELLI, A., PARIS, M., MACOR, J. 2015. Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. Recuperado de: <https://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf>



La distribución espacial de la precipitación en el área de influencia se presenta en la [Figura 5-50](#).

Del análisis del mapa de isoyetas, se puede concluir que la precipitación media anual en el área de influencia varía entre 2.045 mm/año y 2.415 mm/año, bastante simétrica en el área de influencia de oriente a occidente, mientras que incrementa de norte a sur, por lo que los mayores valores de precipitación se encuentran en parte alta de las cuencas.

**Tabla 5-68. Listado de estaciones del IDEAM empleadas en la definición del mapa de precipitación media anual e isoyetas.**

Código	Nombre Estación	Departamento	Municipio	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Precipitación media anual (mm/año)
				Este	Norte	
26170180	Caramanta	Antioquia	Caramanta	4.707.471	2.171.678	2.591
26195030	Jardín El	Antioquia	Jardín	4.689.841	2.176.172	2.646
26195020	Ita Andes	Antioquia	Andes	4.681.068	2.187.640	2.136
26175030	Nacional Granja La	Antioquia	Támesis	4.702.059	2.190.452	2.451
26190090	Betania-Las Guacas	Antioquia	Betania	4.670.542	2.194.775	2.737
26180160	Abejorral	Antioquia	Abejorral	4.730.952	2.197.915	2.042
26170150	Pueblorrico	Antioquia	Pueblorrico	4.685.712	2.198.687	2.969
26175040	Tunez Hacienda	Antioquia	Fredonia	4.706.528	2.199.603	1.901
26170190	Dique El	Antioquia	Jericó	4.698.482	2.200.041	2.623
26210110	Penalisa	Antioquia	Salgar	4.683.316	2.214.615	3.193
26200150	Fredonia	Antioquia	Fredonia	4.702.818	2.214.720	2.882
26180200	Montebello	Antioquia	Montebello	4.719.247	2.216.201	2.411
26200130	Bolombolo	Antioquia	Venecia	4.685.433	2.218.240	1.905
27015260	Salada La	Antioquia	Caldas	4.709.572	2.227.034	2.555
26200120	Otramina	Antioquia	Titiribí	4.690.769	2.229.847	2.302

Fuente: SAG, 2022 con información de IDEAM, 2021

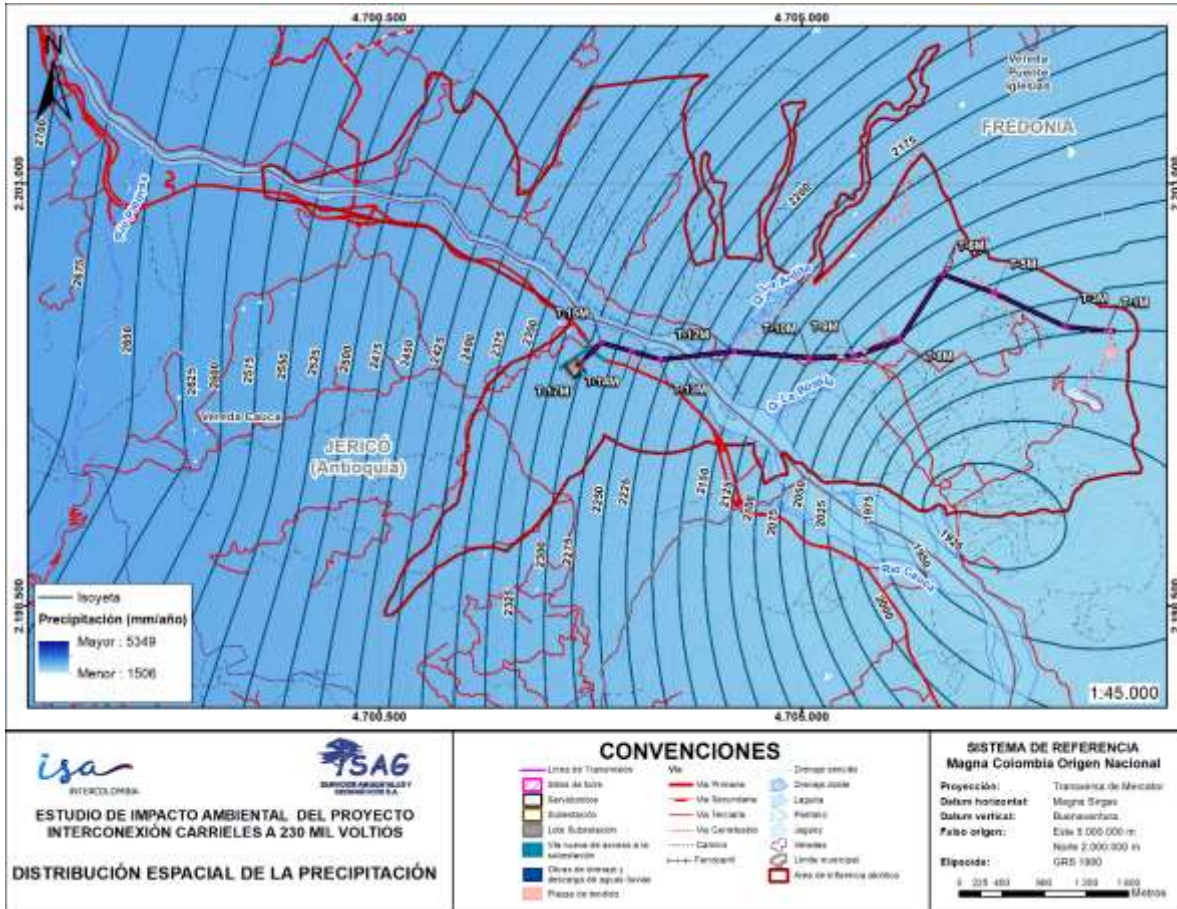
Luego de generar el mapa de precipitación, se extrajo el valor de la precipitación media multianual para cada una de las cuencas, a través de la herramienta de Estadística Zonal de ArcGIS 10.8. Estos valores se presentan en la [Tabla 5-69](#).

**Tabla 5-69. Precipitación media multianual en cada cuenca.**

ID	Nombre	Precipitación (mm/año)
1	Afluente sin nombre 1	2.527
2	Afluente sin nombre 2	2.477
3	Quebrada Dos Quebradas	2.504
4	Afluente sin nombre 3	2.404

<b>ID</b>	<b>Nombre</b>	<b>Precipitación (mm/año)</b>
5	Quebrada Las Palmeras	2.448
6	Afluente sin nombre 4	2.349
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	2.337
8	Afluente sin nombre 6	2.245
9	Afluente sin nombre 7	2.245
10	Afluente sin nombre 8	2.173
11	Quebrada el Campamento	1.949
12	Afluente sin nombre 9	2.000
13	Quebrada La Rosala	2.171
14	Quebrada La Ardita	2.334
15	Afluente sin nombre 10	2.246
16	Afluente sin nombre 11	2.291
17	Afluente sin nombre 12	2.309
18	Afluente sin nombre 13	2.324
19	Afluente sin nombre 14	2.352
20	Quebrada La Sapo	2.374
21	Afluente sin nombre 15	2.416
22	Quebrada La Tuntuna	2.466
23	Quebrada La Torre	2.562
24	Afluente sin nombre 16	2.596
25	Afluente sin nombre 17	2.001
26	Afluente sin nombre 18	1.968
27	Directos al río Cauca	2.396

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-50. Distribución espacial de la precipitación media multianual e isoyetas en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.8.2 Temperatura

Los valores de temperatura media, máxima y mínima mensual y anual de temperatura se presentan en el numeral 5.1.11.3.1. A continuación, se relaciona la distribución espacial de la temperatura media anual multianual.

#### 5.1.6.8.2.1 Distribución espacial de la temperatura media anual multianual

En Colombia, la temperatura superficial del aire está fuertemente condicionada por la altura sobre el nivel del mar. El método de regionalización propuesto por Cenicafé<sup>93</sup> es una buena manera de estimar la temperatura media multianual en cualquier lugar del

<sup>93</sup> JARAMILLO ROBLEDO, Álvaro. Relación entre la evaporación y los elementos climáticos, 1989. p.86-94.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

país. Dicha regionalización fue elaborada para las diferentes regiones del país, tomando como información básica los registros de temperatura media mensual del aire en superficie de 1.002 estaciones. Los resultados obtenidos permitieron obtener la siguiente ecuación de temperatura para la Región Andina:

Región Andina:

$$T_{media} = 29,42 - 0,0061H$$

Donde:

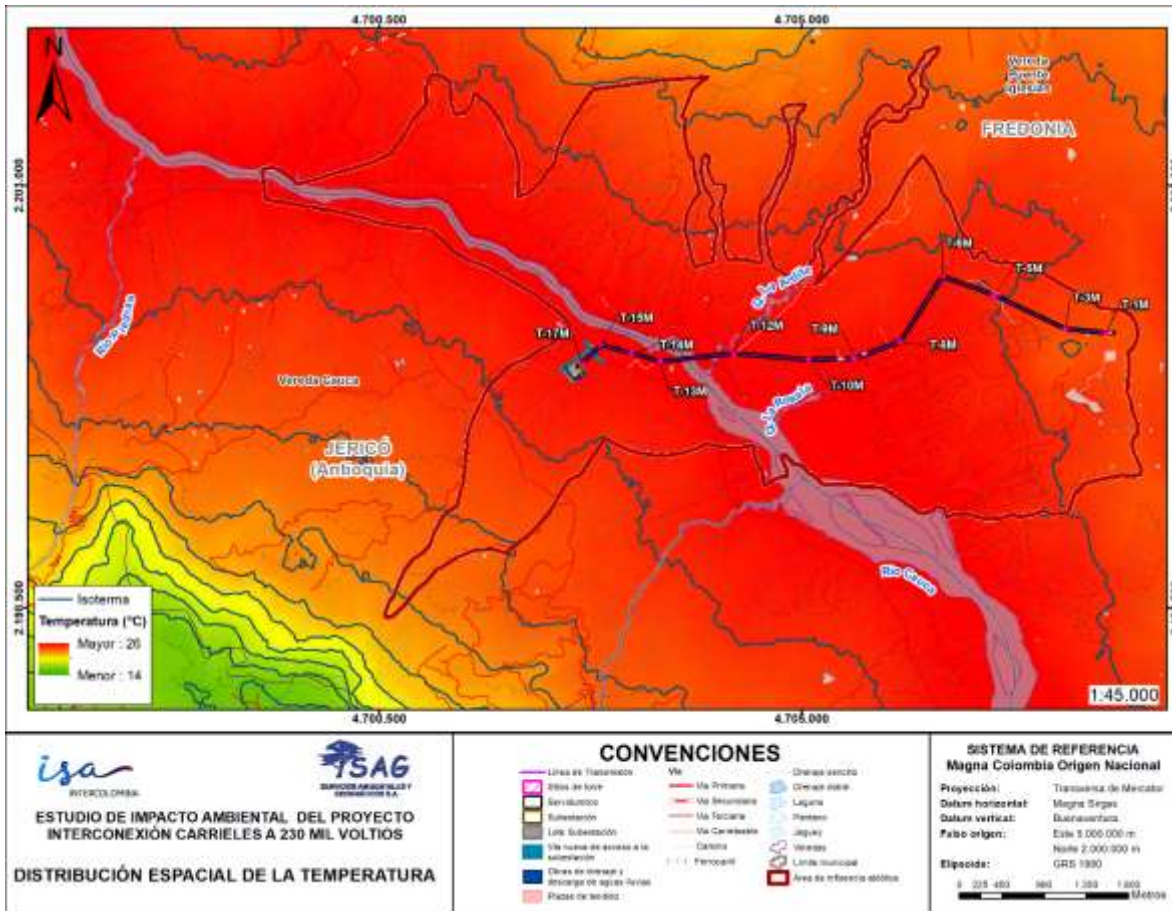
- $T_{media}$ : corresponde a la temperatura media multianual (en °C)
- H: es la altura sobre el nivel del mar (m)

Es de anotar que la dependencia lineal empírica expresada en las relaciones de Cenicafé, concuerda con el decrecimiento de la temperatura con la altura sobre el nivel del mar en condiciones adiabáticas<sup>94</sup>.

Tal y como se mencionó anteriormente, se cuenta con el modelo digital de elevación (DEM) del satélite Alos Palsar de 12,5 m de resolución para el área de influencia. A partir de dicho DEM, y la ecuación de temperatura para la región andina, se utilizó la herramienta de Álgebra de Mapas de ArcGIS 10.8 y se obtuvo el mapa de temperatura media multianual para toda el área de influencia (ver [Figura 5-51](#)).

---

<sup>94</sup> VÉLEZ, J. I., G. POVEDA, Y O. J. MESA (2000). *Balances Hidrológicos de Colombia*. Serie del Posgrado en Recursos Hidráulicos, No. 16, 150 p.



**Figura 5-51. Distribución espacial de la temperatura media en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.8.3 Evaporación

La variabilidad espacial de la evapotranspiración se determinó empleando los métodos de cálculo empíricos propuestos por Cenicafé - Budyko y Turc.

#### 5.1.6.8.3.1 Distribución espacial de la evapotranspiración real (ETR)

La dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y condiciones aerodinámicas propicias para asimilación y transporte de vapor de agua.

En el largo plazo, la disponibilidad de agua en una zona es determinada por la precipitación. Dicha variable es responsable del suministro de agua a los acuíferos por

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

infiltración, manteniendo el flujo base de las corrientes; además, el suministro de agua en la zona vadosa va directamente a las plantas, y junto con el agua interceptada por las mismas, conforma el volumen disponible para la evapotranspiración.

Para el cálculo de la Evapotranspiración media multianual, existen varios métodos empíricos, la mayoría de ellos basados en fórmulas que han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por Barco y Cuartas<sup>95</sup>, se demostró que los métodos más confiables para estimar la evapotranspiración en Colombia se basan en las ecuaciones propuestas por Cenicafé y Turc.

- Método de Cenicafé - Budyco:

Obtenida por el Centro Nacional de Estudios del Café a partir de correlacionar los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas de Colombia<sup>96</sup>. Su cálculo es sencillo, ya que permite calcular la evapotranspiración potencial (ETP) a partir de la altura sobre el nivel del mar. Su expresión es:

$$ETP = 365 * 4,658 \exp(-0,0002 h)$$

Donde:

- ETP es la evaporación potencial en mm/año
- h es la cota sobre el nivel del mar en m.

La evapotranspiración potencial ETP se transforma a evapotranspiración real ETR, mediante la ecuación de Budyko<sup>97</sup>:

$$ETR = \sqrt{ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right)}$$

Donde:

- ETR es la evapotranspiración real (mm/año)
- P es la precipitación (mm/año)
- ETP es la evaporación potencial (mm/año).

- Método de Turc:

<sup>95</sup> BARCO, O. J, CUARTAS, L. A. Estimación de la evaporación en Colombia. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 1998.

<sup>96</sup> JARAMILLO, R. A. Relación entre la evaporación y los elementos climáticos. Cenicafé. p.86-94.

<sup>97</sup> BUDYKO, M. I. Climate and Life, Academic, Orlando, Fla. 1974.

La ecuación de Turc estima la evaporación real con base en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples, como la temperatura y la precipitación de la cuenca, aplicadas a medidas de largo plazo:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ para } \left(\frac{P}{L}\right) > 0,316$$

$$ETR = P \text{ para } \left(\frac{P}{L}\right) < 0,316$$

Donde *ETR* es la evaporación real o evapotranspiración en mm/año, *P* es la precipitación media multianual expresada en mm/año y *L* es una función que depende de la temperatura. Esta última se expresa como:

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Dónde *T* es la temperatura media multianual en °C.

Mediante los mapas de precipitación y temperatura media, obtenidos en los numerales anteriores, y aplicando las ecuaciones anteriormente presentadas, con la herramienta “Álgebra de Mapas” de ArcGIS 10.8., fue posible obtener los mapas con la distribución espacial de la Evapotranspiración real para ambos métodos (Cenicafé-Budyko y Turc), los cuales se presentan a continuación (ver Figura 5-52 y Figura 5-53).

Si se comparan los mapas obtenidos a partir de la ecuación de Cenicafé y Budyko, con los obtenidos a partir de la ecuación de Turc, se observa una similitud en la variación espacial de la ETR en ambos mapas, como consecuencia directa de la dependencia de la evapotranspiración con la temperatura y la precipitación, por lo que los caudales medios serán calculados con el promedio de ambas metodologías.

Dicho lo anterior, se extrajeron los valores de ETR media para cada una de las cuencas de interés, a través de la Herramienta de Estadística Zonal de ArcGIS 10.8. Estos valores se presentan en la Tabla 5-70.

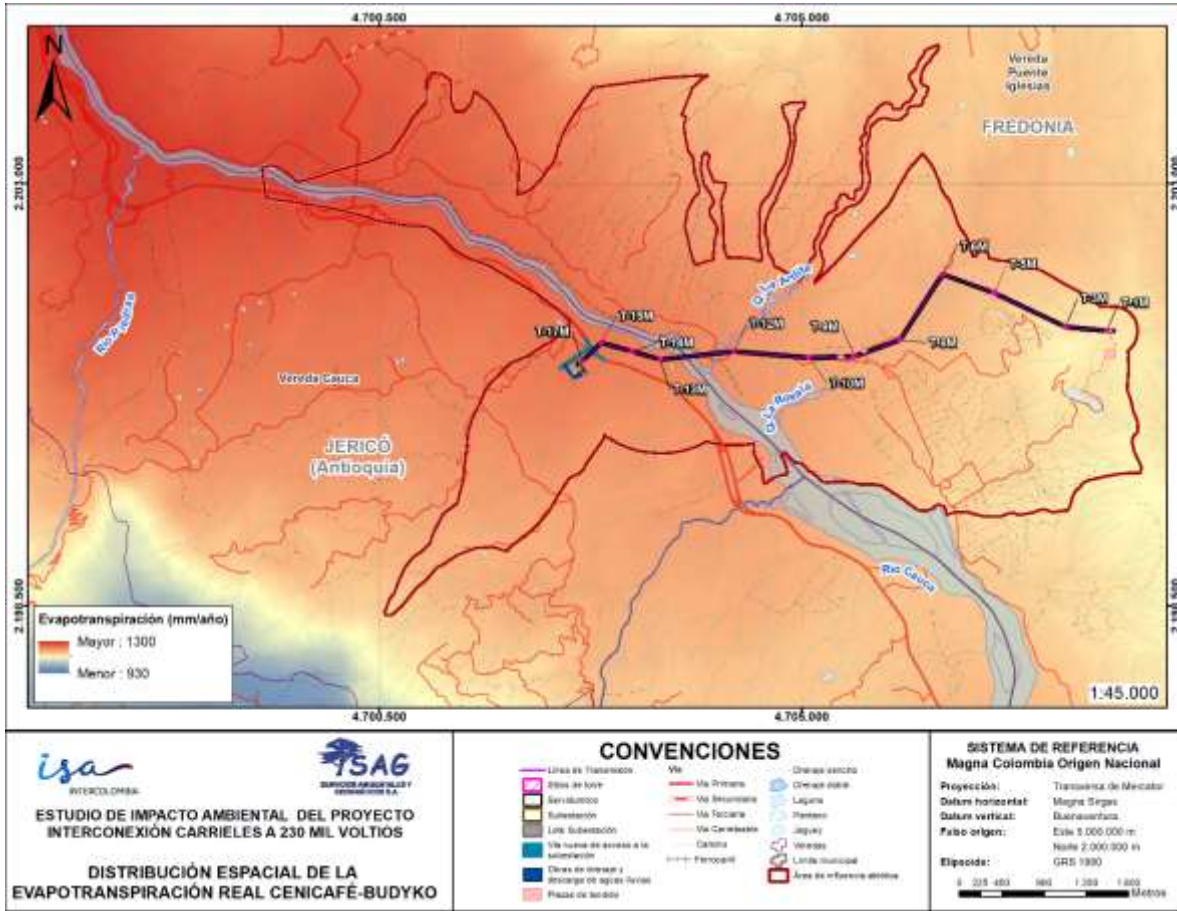
**Tabla 5-70. Evapotranspiración real media multianual en cada cuenca.**

Cuenca	ETR (mm/año)		
	Cenicafé -Budyco	Turc	Media
Afluente sin nombre 1	1.223,03	1.397,46	1.310,25
Afluente sin nombre 2	1.243,22	1.449,34	1.346,28
Quebrada Dos Quebradas	1.172,99	1.287,52	1.230,26
Afluente sin nombre 3	1.229,94	1.427,61	1.328,77
Quebrada Las Palmeras	1.154,54	1.251,37	1.202,96
Afluente sin nombre 4	1.223,36	1.419,07	1.321,22
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	1.204,13	1.377,06	1.290,59

Cuenca	ETR (mm/año)		
	Cenicafé -Budyco	Turc	Media
Afluente sin nombre 6	1.215,77	1.415,91	1.315,84
Afluente sin nombre 7	1.201,05	1.382,15	1.291,60
Afluente sin nombre 8	1.199,80	1.390,11	1.294,96
Quebrada El Campamento	1.151,38	1.319,46	1.235,42
Afluente sin nombre 9	1.174,17	1.360,67	1.267,42
Quebrada La Rosala	1.161,10	1.303,52	1.232,31
Quebrada La Ardita	1.142,54	1.238,15	1.190,35
Afluente sin nombre 10	1.215,24	1.413,98	1.314,61
Afluente sin nombre 11	1.210,99	1.398,45	1.304,72
Afluente sin nombre 12	1.225,98	1.431,25	1.328,61
Afluente sin nombre 13	1.214,05	1.401,58	1.307,81
Afluente sin nombre 14	1.232,31	1.439,74	1.336,03
Quebrada La Sapo	1.175,81	1.307,29	1.241,55
Afluente sin nombre 15	1.234,45	1.436,23	1.335,34
Quebrada Tuntuna	1.139,12	1.212,65	1.175,89
Quebrada La Torre	1.212,39	1.369,05	1.290,72
Afluente sin nombre 16	1.255,68	1.465,65	1.360,67
Afluente sin nombre 17	1.151,59	1.310,42	1.231,00
Afluente sin nombre 18	1.144,51	1.300,44	1.222,48
Directos al río Cauca	1.239,26	1.451,23	1.345,24

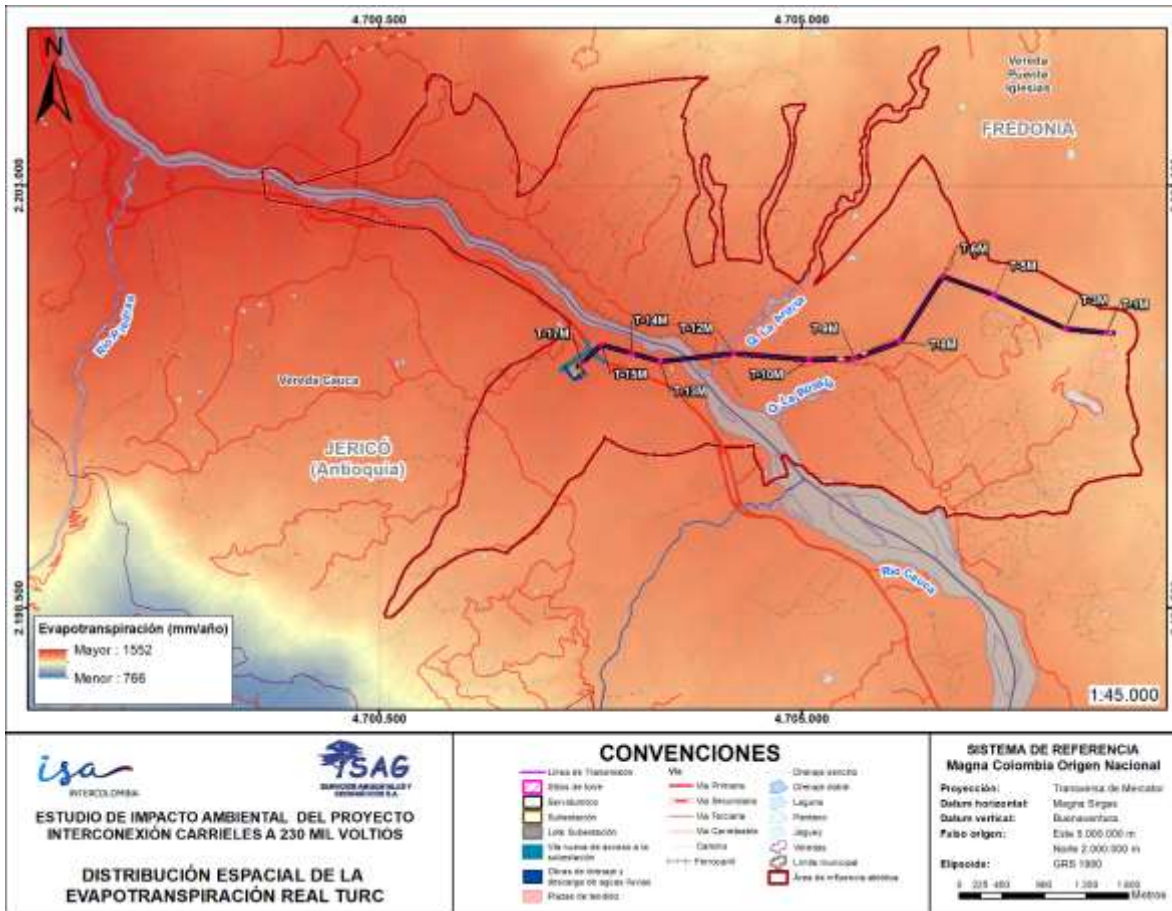
Fuente: SAG, 2024





**Figura 5-52. Distribución espacial de la ETR método de Cenicafé – Budyko en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-53. Distribución espacial de la ETR método de Turc en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.9 Zonificación climática

La zonificación climática en el área de influencia se elaboró a partir de la intersección de los mapas de temperatura y precipitación media multianual, de acuerdo con la metodología referenciada en el documento Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia<sup>98</sup>.

Para empezar, se asignó una reclasificación a los mapas de temperatura y precipitación media multianual obtenidos anteriormente (ver Figura 5-54 y Figura 5-55) de acuerdo con

<sup>98</sup> IDEAM, IGAC, IAvH, Invermar, I, Sinchi e IIAP. Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. 2007.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

lo establecido en la Tabla 5-71 y Tabla 5-72 respectivamente. El proceso anterior se realizó utilizando la herramienta “Calculadora Ráster” del software ArcGIS 10.8.

**Tabla 5-71. Denominación termal.**

Denominación termal	Rangos altitudinales (msnm)	Rangos de temperatura
Cálido	De 0 a 800	T>24°C
Templado	De 801 a 1.800	18°C<T<24°C
Frío	De 1.801 a 2.800	12°C<T<18°C
Muy Frío	De 2.801 a 3.700	6°C<T<12°C
Extremadamente frío	De 3.701 a 4.500	1,5°C<T<6°C
Nival	De 4.500 en adelante	T<1,5 °C

*Fuente: IDEAM, 2007*

**Tabla 5-72. Denominación por rangos de precipitación anual.**

Denominación precipitación	Rangos de precipitación anual
Árido	0 - 500 mm/año
Muy seco	501 – 1.000 mm/año
Seco	1.001 – 2.000 mm/año
Húmedo	2.001 – 3.000 mm/año
Muy húmedo	3.001 – 7.000 mm/año
Pluvial	> 7.000 mm/año

*Fuente: IDEAM, 2007*

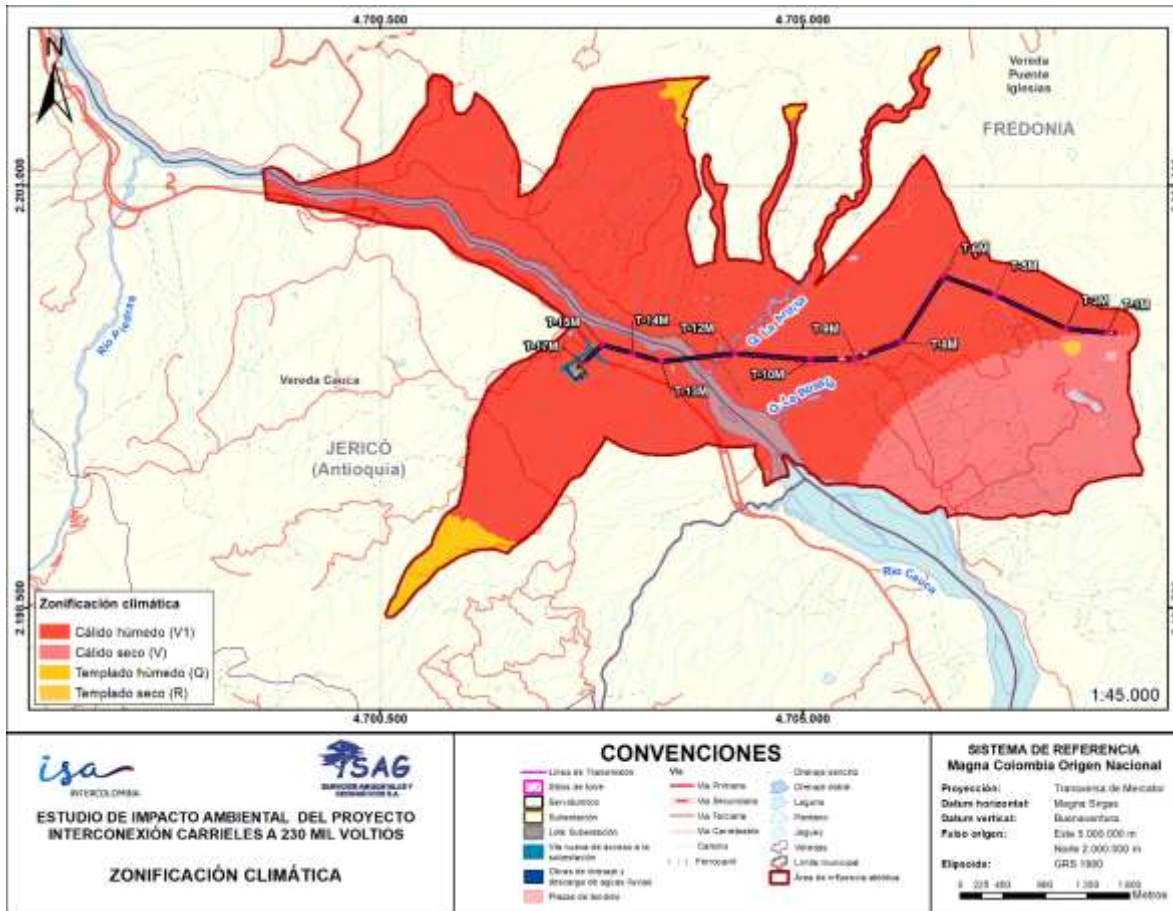
Una vez categorizados los dos elementos meteorológicos principales para la clasificación climática, se realizó una intersección espacial entre las dos capas, utilizando la herramienta “Intersección” del software ArcGIS 10.8, y se obtuvo un mapa resultado cuyos polígonos relacionan un rango de precipitación con un rango termal, de acuerdo con la leyenda mostrada en la Figura 5-54.

<b>Cálidos (0 - 800 msnm) &gt; 24° C</b>	
Árido (0 - 500 mm/año)	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	
Húmedo (2.000 - 3.000 mm/año)	
Muy húmedo (3.000 - 7.000 mm/año)	
Pluvial (> 7.000 mm/año)	
<b>Templados (800 - 1.800 msnm) Entre 18° C y 24° C</b>	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	
Húmedo (2.000 - 3.000 mm/año)	
Muy húmedo (3.000 - 7.000 mm/año)	
Pluvial (> 7.000 mm/año)	
<b>Frios (1.800 - 2.800 msnm) Entre 12° C y 18° C</b>	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	
Húmedo (2.000 - 3.000 mm/año)	
Muy húmedo (3.000 - 7.000 mm/año)	
<b>Muy frios (2.800 - 3.700 msnm) Entre 6° C y 12° C</b>	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	
Húmedo (2.000 - 3.000 mm/año)	
Muy húmedo (3.000 - 7.000 mm/año)	
<b>Extremadamente frios (3.700 - 4.500 msnm) Entre 1,5 y 6° C</b>	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	
Húmedo (2.000 - 3.000 mm/año)	
Muy húmedo (3.000 - 7.000 mm/año)	
<b>Nival (&gt; 4.500 msnm) &lt; 1,5° C</b>	
Muy seco (500 - 1.000 mm/año)	
Seco (1.000 - 2.000 mm/año)	

**Figura 5-54. Leyenda del mapa de zonificación climática.**

*Fuente: IDEAM, 2007*

Los resultados de la zonificación climática en el área de influencia abiótica se presentan en la Figura 5-55, donde se observa que esta se encuentra en las zonas climáticas templada húmeda, cálida húmeda y cálida seca.



**Figura 5-55. Zonificación climática del área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.10 Régimen hidrológico

#### 5.1.6.10.1 Caudales mínimos: regionalización de características medias

Para el cálculo del caudal mínimo de las diferentes cuencas identificadas, teniendo en cuenta el tamaño de las cuencas identificadas, se consultó la Revista Hidrometeorológica de EPM<sup>99</sup>, a partir de la cual se extrajeron y emplearon los métodos de regionalización III, IIIA, IIIB y IV, lo que permitió medir la sensibilidad de los resultados, debido a que se obtuvo el caudal mínimo con los diferentes métodos puntualizados en dicha revista. A continuación,

<sup>99</sup> ARBOLEDA, J.A.; ZULUAGA, J.E. El Concepto del riesgo ambiental y su evaluación. Revista EPM. Volumen 15, No. 3, Enero – Abril. Medellín. 2005

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	

se presentan las ecuaciones que se utilizaron para la estimación de los caudales mínimos asociados a las cuencas de interés.

- Método III: Regionalización para todo el departamento de Antioquia

$$Media = 10^{-5,281} \times \text{Área}^{0,903} \times Pma^{1,086}$$

$$Desviación\ estándar = 10^{-5,257} \times \text{Área}^{0,944} \times Pma^{0,9027}$$

- Método IIIA: Regionalización para todo el departamento de Antioquia

$$Media = 10^{-1,753} \times \text{Área}^{0,934}$$

$$Desviación\ estándar = 10^{-2,326} \times \text{Área}^{1,011}$$

- Método IIIB: Regionalización para todo el departamento de Antioquia

$$Media = 10^{-5,281} \times \text{Área}^{0,903} \times Pma^{1,086}$$

$$Desviación\ estándar = 10^{-5,437} \times \text{Área}^{0,683} \times Long^{0,516} \times Pend^{0,322} \times Pma^{0,868}$$

Dónde:

- Área: Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.
- Pma: Precipitación media anual en mm/año.
- Long: Longitud del cauce en km
- Pend: Pendiente de la cuenca en m/m

Una vez estimados los parámetros descritos anteriormente, se pueden estimar caudales mínimos para los diferentes períodos de retorno mediante la siguiente expresión:

$$Q_{TR} = Media + K_{TR} \times Desviación\ estándar$$

Dónde el factor  $K_{TR}$  depende de la distribución estadística que se emplee, y es un factor de frecuencia asociado a un período de retorno calculado a partir de distribuciones estadísticas, las cuales para el caso son la distribución Gumbell y Lognormal, cuyos factores se calculan con las siguientes ecuaciones:

- Gumbell:

$$K_{Tr} = - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[ 0,577 + \ln \left( - \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

- Lognormal:

$$K_{Tr} = \frac{Exp\{Z_t[\ln(1 + c_{vx}^2)]^{0,5} - 0,5 \ln(1 + c_{vx}^2)\} - 1}{c_{vx}}$$

Una vez son obtenidos los seis resultados (dos distribuciones y tres métodos) se obtiene el promedio de los resultados obtenidos. Los caudales mínimos para los distintos periodos de retorno de las cuencas identificadas en el área de influencia abiótica del proyecto se resumen en la Tabla 5-73.

**Tabla 5-73. Caudales mínimos para distintos periodos de retorno de las cuencas identificadas.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Caudales mínimos – Periodo de Retorno (l/s)						
		2,33	5	10	15	25	50	100
1	Afluente sin nombre 1	23,81	15,11	10,66	8,70	6,66	4,40	2,54
2	Afluente sin nombre 2	12,14	8,89	7,20	6,45	5,67	4,80	4,09
3	Quebrada Dos Quebradas	48,99	26,74	15,28	10,22	4,91	-1,00	-5,88
4	Afluente sin nombre 3	9,76	7,45	6,23	5,69	5,12	4,49	3,97
5	Quebrada Las Palmeras	47,83	28,77	19,00	14,69	10,18	5,18	1,06
6	Afluente sin nombre 4	9,54	6,82	5,40	4,78	4,13	3,41	2,82
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	27,81	17,21	11,76	9,37	6,86	4,08	1,80
8	Afluente sin nombre 6	8,73	6,68	5,60	5,12	4,61	4,04	3,58
9	Afluente sin nombre 7	13,32	9,10	6,93	5,97	4,97	3,87	2,97
10	Afluente sin nombre 8	8,69	6,16	4,85	4,28	3,67	3,00	2,46
11	Quebrada el Campamento	36,69	23,57	16,79	13,81	10,69	7,24	4,40
12	Afluente sin nombre 9	13,97	9,53	7,23	6,22	5,16	3,99	3,04
13	Quebrada La Rosala	141,97	50,92	2,81	-18,67	-41,38	-66,82	-87,97
14	Quebrada La Ardita	171,39	65,25	9,38	-15,55	-41,89	-71,39	-95,90
15	Afluente sin nombre 10	7,84	5,79	4,72	4,24	3,75	3,20	2,75
16	Afluente sin nombre 11	10,05	7,12	5,60	4,93	4,23	3,46	2,83
17	Afluente sin nombre 12	2,72	2,13	1,82	1,68	1,53	1,36	1,23
18	Afluente sin nombre 13	8,73	6,20	4,89	4,32	3,71	3,05	2,50
19	Afluente sin nombre 14	2,35	1,91	1,68	1,57	1,46	1,33	1,22
20	Quebrada La Sapo	39,52	23,78	15,71	12,15	8,42	4,29	0,89
21	Afluente sin nombre 15	11,84	8,35	6,55	5,75	4,92	4,00	3,25
22	Quebrada La Tuntuna	91,61	46,80	23,59	13,30	2,48	-9,58	-19,56
23	Quebrada La Torre	108,39	58,42	32,63	21,23	9,26	-4,07	-15,08
24	Afluente sin nombre 16	10,43	7,57	6,09	5,43	4,74	3,98	3,36
25	Afluente sin nombre 17	3,42	2,66	2,25	2,07	1,88	1,66	1,49
26	Afluente sin nombre 18	13,35	9,71	7,81	6,97	6,09	5,12	4,33
27	Directos al rio Cauca	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.10.2 Caudales medios: balance hídrico a largo plazo

Para la estimación del caudal medio de las diferentes cuencas identificadas, correspondientes a las principales corrientes en el Área de influencia abiótica, se emplea el balance hidrológico a largo plazo empleado pues el tamaño de las cuencas se encuentra

entre 0,13 km<sup>2</sup> y 16,82 km<sup>2</sup> con un promedio de 2,98 km<sup>2</sup> donde solamente dos cuencas, La Rosala y La Ardita tienen tamaños considerados “outlayers” de entre 15 y 16 km<sup>2</sup>. En este método se estima la precipitación que cae sobre la cuenca y produce escorrentía (incluyendo el proceso de evapotranspiración, excluyendo la acumulación en el suelo y por ende el término de largo plazo), la cual genera un caudal igual a la multiplicación de la escorrentía por el área de la cuenca.

Los insumos para la estimación del caudal medio son presentados en el capítulo a partir de la caracterización climatológica del área de influencia<sup>100</sup>. La ecuación empleada es:

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

Donde:

- Q: es el caudal medio
- P: es la precipitación media de la cuenca
- E: representa la evapotranspiración media
- A: el área de la cuenca.

Este valor estimado corresponde al caudal en el punto de control de la cuenca.

- Resultados caudales medios aplicando el método de balance hídrico a largo plazo

Los resultados, resumidos en la Tabla 5-74, muestran que las cuencas tienen un rendimiento entre 23 y 41 l/s/km<sup>2</sup> con un valor promedio de 33 l/s/km<sup>2</sup>, valor que es la mitad del promedio colombiano (63 l/s/km<sup>2</sup>) y aproximadamente tres veces el promedio mundial (10 l/s/km<sup>2</sup>).

**Tabla 5-74. Caudal medio de las cuencas identificadas.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Área	Precipitación	ETR	Escorrentía	Caudal medio	Rendimiento
		(ha)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	(l/s)	(l/s/km <sup>2</sup> )
1	Afluente sin nombre 1	1,67	2.527,0	1.310,25	1.216,31	0,06	38,57
2	Afluente sin nombre 2	0,77	2.477,0	1.346,28	1.130,96	0,03	35,86
3	Quebrada Dos Quebradas	3,82	2.504,0	1.230,26	1.273,79	0,15	40,39
4	Afluente sin nombre 3	0,61	2.404,0	1.328,77	1.075,26	0,02	34,10
5	Quebrada Las Palmeras	3,61	2.448,0	1.202,96	1.244,58	0,14	39,47
6	Afluente sin nombre 4	0,64	2.349,0	1.321,22	1.027,39	0,02	32,58
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	2,15	2.337,0	1.290,59	1.046,58	0,07	33,19

<sup>100</sup> AMAYA, Guillermo. Estudio de uso combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo. 2010. Antioquia. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.



ID Cuenca	Nombre Cuenca	Área	Precipitación	ETR	Escorrentía	Caudal medio	Rendimiento
		(ha)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	(l/s)	(l/s/km²)
8	Afluente sin nombre 6	0,58	2.245,0	1.315,84	929,35	0,02	29,47
9	Afluente sin nombre 7	0,97	2.245,0	1.291,60	953,52	0,03	30,24
10	Afluente sin nombre 8	0,63	2.173,0	1.294,96	878,39	0,02	27,85
11	Quebrada el Campamento	3,35	1.949,0	1.235,42	713,89	0,08	22,64
12	Afluente sin nombre 9	1,15	2.000,0	1.267,42	732,51	0,03	23,23
13	Quebrada La Rosala	15,24	2.171,0	1.232,31	938,73	0,45	29,77
14	Quebrada La Ardita	16,82	2.334,0	1.190,35	1.143,65	0,61	36,26
15	Afluente sin nombre 10	0,53	2.246,0	1.314,61	931,20	0,02	29,53
16	Afluente sin nombre 11	0,69	2.291,0	1.304,72	985,92	0,02	31,26
17	Afluente sin nombre 12	0,16	2.309,0	1.328,61	980,04	0,01	31,08
18	Afluente sin nombre 13	0,59	2.324,0	1.307,81	1.016,40	0,02	32,23
19	Afluente sin nombre 14	0,13	2.352,0	1.336,03	1.015,88	0,00	32,21
20	Quebrada La Sapo	3,08	2.374,0	1.241,55	1.132,25	0,11	35,90
21	Afluente sin nombre 15	0,79	2.416,0	1.335,34	1.081,07	0,03	34,28
22	Quebrada La Tuntuna	7,57	2.466,0	1.175,89	1.290,59	0,31	40,92
23	Quebrada La Torre	8,72	2.562,0	1.290,72	1.271,21	0,35	40,31
24	Afluente sin nombre 16	0,63	2.596,0	1.360,67	1.235,60	0,02	39,18
25	Afluente sin nombre 17	0,24	2.001,0	1.231,00	769,85	0,01	24,41
26	Afluente sin nombre 18	1,05	1.968,0	1.222,48	745,39	0,02	23,64
27	Directos al río Cauca	4,37	2.396,0	1.345,24	1.051,16	0,15	33,33

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.10.3 Caudales máximos: método racional

El estudio hidrológico tiene en sus alcances la estimación de los caudales máximos de las cuencas identificadas en el área de influencia abiótica. A partir del modelo digital de elevación (DEM) del satélite Alos Palsar de 12,5 m de resolución, usado para la delimitación de las cuencas, se determinaron los diferentes parámetros morfométricos de las mismas, las cuales son los insumos para aplicar las diferentes metodologías para la estimación de caudales máximos.

Debido a que las cuencas no disponen de información hidrológica que permita estimar caudales a partir de un análisis histórico (estadístico), se hace necesario utilizar modelos Lluvia-Escorrentía como el método Racional, cuya aplicabilidad resulta efectiva para cuencas de tamaños pequeños y medianos. Dichos modelos emplean como insumos la intensidad del evento de precipitación, el tiempo de concentración, las características del suelo y parámetros morfométricos de las cuencas para determinar a partir de la lluvia la escorrentía correspondiente al evento.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A continuación, se describe los insumos necesarios para cada metodología y posteriormente la metodología de cálculo.

- Tiempo de concentración

Existen diversas metodologías para estimar el tiempo de concentración de una cuenca a partir de los parámetros morfométricos, todas ellas determinadas a partir de ajustes empíricos de registros hidrológicos. La duración de la lluvia se hace igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es, para esta duración, cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por esto, es de esperarse que se presenten los caudales máximos.

Las expresiones usadas para el cálculo de los tiempos de concentración sugeridas por Smith & Vélez<sup>101</sup> y Campo & Múnera<sup>102</sup> son:

- Témez (1978)

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S_0^{0,25}} \right)^{0,75}$$

Donde:

- T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración en horas
- L: Longitud del cauce principal en kilómetros
- S<sub>0</sub>: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje

- Williams (1922)

$$T_c = \frac{L A^{0,4}}{D S_0^{0,2}}$$

Donde:

- A: área de la cuenca en millas cuadradas
- L: distancia en línea recta desde el sitio de interés al punto más alto en millas
- S<sub>0</sub>: diferencia de cotas entre los puntos más extremos dividida por L en porcentaje
- d: diámetro de una cuenca circular con área A en millas.

- Kirpich (1990)

<sup>101</sup> SMITH, Ricardo; VELEZ, Maria. Hidrología de Antioquia. 1997. Secretaría de obras públicas departamentales.

<sup>102</sup> CAMPO, Juan; MUNERA, Juan. Determinación de tiempos de concentración y coeficientes de escorrentía para algunas cuencas de Antioquia. 1997. Universidad Nacional de Colombia.

$$T_c = 0,066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)$$

Donde:

- L: longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria siguiendo en cauce principal en kilómetros
  - So: diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente en m/m
- Johnstone y Cross (1949)

$$T_c = 5 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5}$$

Donde:

- L: longitud del cauce principal en millas
  - So: pendiente del canal en pies/milla
- California Culverts Practice (1942)

$$T_c = 0,01 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

- L: longitud del canal principal en kilómetros
  - H: diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria en metros
- Giandiotti (1990)

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3\sqrt{LS_0}}$$

Donde:

- A: área de la cuenca en kilómetros cuadrados
- L: Longitud del cauce principal en kilómetros
- So: diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en m/m

- Passini

$$T_c = \frac{0,108(AL)^{0,33}}{S^{0,5}}$$

Donde:

- A: área de la cuenca en kilómetros cuadrados
- L: Longitud del cauce principal en kilómetros
- S: pendiente promedio del cauce principal (diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente) en m/m

- Ranser

$$T_c = 0,947 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

- L: Longitud del cauce principal en kilómetros
- H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en pies

- Linsley

$$T_c = C_t \left( \frac{L\bar{L}}{S_0^{0,5}} \right)^{0,35}$$

Donde:

- L: Longitud de la cuenca en millas
- ( $\bar{L}$ ): Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca en millas
- $S_0$ : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente dividida por L en %
- $C_t$ : Constante:  $C_t = 1,2$  en áreas montañosas
- $C_t=0,72$  en zonas de pie de ladera y  $C_t= 0,35$  en valles

- Snyder

$$T_c = C_t (L\bar{L})^{0,3}$$

Donde:

- L: Longitud de la cuenca en millas
- ( $\bar{L}$ ): Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca en millas
- $C_t$ : Constante:  $C_t = 1,2$  en áreas montañosas
- $C_t=0,72$  en zonas de pie de ladera y  $C_t= 0,35$  en valles

Teniendo en cuenta las diferencias entre las estimaciones producidas por las distintas metodologías, se toma como tiempo de concentración el promedio de los datos cuyo valor está dentro del promedio más o menos una desviación estándar. Los resultados de los tiempos de concentración se resumen en la Tabla 5-75.

**Tabla 5-75. Tiempos de concentración de las cuencas identificadas.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	JS	W	CCP	K	P	T	SCS	G	L	S	Tc
		(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1	Afluente sin nombre 1	97	84	26	27	38	32	27	41	71	105	58
2	Afluente sin nombre 2	64	38	14	14	23	17	14	38	38	59	34
3	Quebrada Dos Quebradas	106	116	31	31	42	42	31	36	97	153	73
4	Afluente sin nombre 3	52	26	9	10	18	12	10	35	39	61	28
5	Quebrada Las Palmeras	73	50	16	18	24	20	18	36	46	71	39
6	Afluente sin nombre 4	99	89	28	28	40	34	28	42	70	105	60
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	143	79	0.19	49	32	44	55	92	57	62	57
8	Afluente sin nombre 6	85	64	20	22	31	26	22	41	59	87	48
9	Afluente sin nombre 7	75	53	18	18	24	21	18	35	42	65	39
10	Afluente sin nombre 8	124	89	40	40	85	37	40	93	85	98	80
11	Quebrada el Campamento	124	89	40	40	85	37	40	93	85	98	80
12	Afluente sin nombre 9	119	82	32	37	64	33	37	82	62	79	67
13	Quebrada La Rosala	196	241	80	81	147	85	81	91	143	182	150
14	Quebrada La Ardita	170	206	63	65	118	75	65	73	130	180	130
15	Afluente sin nombre 10	75	53	16	18	25	21	18	36	49	76	41
16	Afluente sin nombre 11	56	30	11	12	15	13	12	31	32	48	26
17	Afluente sin nombre 12	73	52	17	18	23	21	18	33	46	71	39
18	Afluente sin nombre 13	28	13	7	4	5	6	4	13	41	53	16
19	Afluente sin nombre 14	243	187	26	113	257	69	113	249	73	115	159
20	Quebrada La Sapo	53	40	19	11	13	17	11	19	41	64	30
21	Afluente sin nombre 15	78	54	19	19	28	22	19	40	41	64	41
22	Quebrada La Tuntuna	120	129	38	38	61	49	38	47	96	147	84
23	Quebrada La Torre	114	108	34	35	67	44	35	55	88	132	80
24	Afluente sin nombre 16	69	44	14	16	23	19	16	36	40	64	36
25	Afluente sin nombre 17	60	32	12	13	18	14	13	37	40	55	44
26	Afluente sin nombre 18	76	43	19	19	36	20	19	57	94	92	48
27	Directos al rio Cauca	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: SAG, 2024

- Intensidad del evento de precipitación

Para calcular la intensidad de la lluvia asociada a diferentes períodos de retorno, se utilizan las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), que relacionan la duración de la lluvia con la intensidad de ésta para diferentes períodos de retorno. Las curvas empleadas corresponden a los registros de la estación del IDEAM: ITA ANDES (26195020) ubicada aproximadamente a 10 km del área de influencia y que tienen un periodo común de funcionamiento desde el año 1970.

Para la generación de las curvas IDF, se usan ecuaciones las metodologías propuestas por Wilches<sup>103</sup>, generando las curvas IDF a partir de la precipitación máxima en 24 horas en una serie que comprende los años 1988 - 2017. Las ecuaciones empleadas requieren la serie anual de esos datos.

$$I = \frac{\mu(\exp(\Phi \sqrt{\ln(1 + CV^2)}))}{\sqrt{1 + CV^2(d/1440)^\theta}}$$

Para duraciones entre 105 y 1.440 minutos, donde  $\mu$  es la media de los datos reportados como intensidades horarias (precipitación máxima en 24 horas),  $\Phi$  es el valor Z de la distribución normalizada con una probabilidad Z (1-1/Tr) para el Tr periodo de retorno, d es la duración del evento en minutos, CV es el coeficiente de variación  $\sigma/\mu$  de los datos, y  $\theta$  toma el valor de -0,85 según Wilches o -0,83 según el atlas hidrológico.

Para duraciones entre 5 y 105 minutos, la ecuación toma la forma:

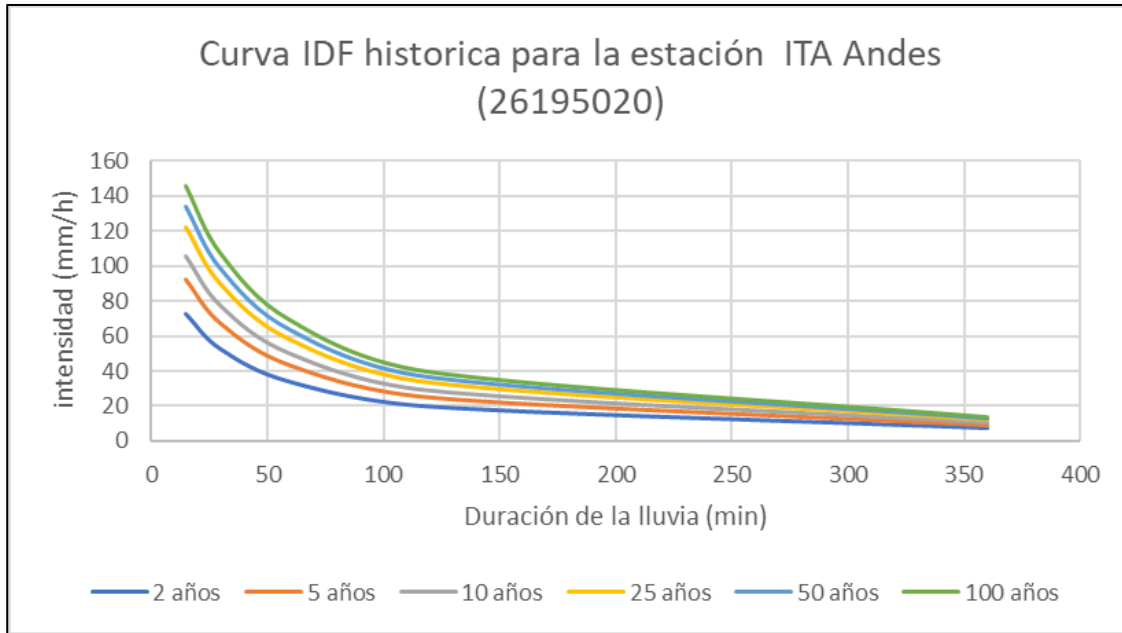
$$I = K \left( \frac{46.2}{d^{0,75}} - \frac{43,5}{d} \right)$$

Donde d es la duración del evento en minutos y K se obtiene de la expresión:

$$K = \frac{\mu(\exp(\Phi \sqrt{\ln(1 + CV^2)}))}{\sqrt{1 + CV^2(105/1440)^\theta}}$$

Las curvas IDF resultantes para las estaciones de estudio, luego de aplicar el respectivo procedimiento, se muestran en la Figura 5-56.

<sup>103</sup> WILCHES, Santiago. Estudio de las propiedades de invarianza de las precipitaciones máximas puntuales en el departamento de Antioquia. Tesis de maestría, Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2001.



**Figura 5-56. Curva IDF estación ITA Andes 26195020.**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 5-76. Intensidades para distintos periodos de retorno de las cuencas identificadas.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Tc (min)	Intensidad (mm/h)					
			2,33	5	10	25	50	100
1	Afluente sin nombre 1	58	75,3	86,2	94,28	103,7	110,3	116,7
2	Afluente sin nombre 2	34	100,2	114,7	125,4	138	146,8	155,2
3	Quebrada Dos Quebradas	73	65,87	75,41	82,48	90,75	96,53	102
4	Afluente sin nombre 3	28	118	135,1	147,8	162,6	173	182,9
5	Quebrada Las Palmeras	39	97,04	111,1	121,5	133,7	142,2	150,3
6	Afluente sin nombre 4	60	73	83,57	91,41	100,6	107	113,1
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	57	35,20	46,80	54,30	61,13	68	75,30
8	Afluente sin nombre 6	48	84,47	96,7	105,8	116,4	123,8	130,9
9	Afluente sin nombre 7	39	97,04	111,1	121,5	133,7	142,2	150,3
10	Afluente sin nombre 8	80	56,83	65,07	71,16	78,3	83,29	88,05
11	Quebrada el Campamento	80	56,83	65,07	71,16	78,3	83,29	88,05
12	Afluente sin nombre 9	67	65,87	75,41	82,48	90,75	96,53	102
13	Quebrada La Rosala	150	38,82	44,44	48,6	53,48	56,88	60,14
14	Quebrada La Ardita	130	42,47	48,62	53,17	58,5	62,23	65,79

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Tc (min)	Intensidad (mm/h)					
			2,33	5	10	25	50	100
15	Afluente sin nombre 10	41	94,16	107,8	117,9	129,7	138	145,9
16	Afluente sin nombre 11	26	132,1	151,2	165,4	182	193,6	204,7
17	Afluente sin nombre 12	39	97,04	111,1	121,5	133,7	142,2	150,3
18	Afluente sin nombre 13	16	195,2	223,5	244,5	269	286,1	302,5
19	Afluente sin nombre 14	159	41,71	47,75	52,22	57,46	61,12	64,62
20	Quebrada La Sapo	30	120,5	138	150,9	166,1	176,6	186,7
21	Afluente sin nombre 15	41	97,04	111,1	121,5	133,7	142,2	150,3
22	Quebrada La Tuntuna	84	58,48	66,95	73,22	80,56	85,7	90,6
23	Quebrada La Torre	80	60,24	68,97	75,44	83	88,29	93,34
24	Afluente sin nombre 16	36	101,8	116,5	127,5	140,3	149,2	157,7
25	Afluente sin nombre 17	29	115,6	132,4	144,8	159,3	169,5	179,2
26	Afluente sin nombre 18	48	84,47	96,7	105,8	116,4	123,8	130,9
27	Directos al río Cauca	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: SAG, 2024

- Coeficiente de escorrentía

A partir de múltiples estudios realizados acerca de la transformación de la precipitación en escorrentía y ésta en caudal máximo, se han propuesto numerosas tablas para la selección del factor de escorrentía. Para este caso, se toma como referencia el documento de guía de diseño de canales de la ciudad de Texas, Austin, USA<sup>104</sup>, mostrada en la Tabla 5-77.

**Tabla 5-77. Valores del coeficiente de escorrentía de referencia.**

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/Techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>							
<b>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</b>							
Plano, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61

<sup>104</sup> CHOW, V.T., MAIDMENT, D., MAYS, L. Hidrología aplicada. Bogotá. Mcgraw-Hill interamericana. p584. 1994.



Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Pendiente, superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<b>Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50 al 75% del área)</b>							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor al 75% del área)</b>							
Plano, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
Plano, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente, superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: Ven Te Chow, 1994

Luego de realizar el proceso de corte y clasificación de los coeficientes de escorrentía, obteniendo el valor del coeficiente para cada cuenca según el promedio ponderado de cada cobertura y su respectiva área, se obtiene el resultado resumido en la Tabla 5-78.

**Tabla 5-78. Coeficientes de escorrentía de las cuencas identificadas.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	C (adim)					
		2,33	5	10	25	50	100
1	Afluente sin nombre 1	0,26	0,29	0,31	0,35	0,38	0,42
2	Afluente sin nombre 2	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41

ID Cuenca	Nombre Cuenca	C (adim)					
		2,33	5	10	25	50	100
3	Quebrada Dos Quebradas	0,3	0,33	0,35	0,39	0,42	0,46
4	Afluente sin nombre 3	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
5	Quebrada Las Palmeras	0,28	0,31	0,33	0,37	0,4	0,44
6	Afluente sin nombre 4	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
8	Afluente sin nombre 6	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
9	Afluente sin nombre 7	0,27	0,3	0,32	0,36	0,39	0,43
10	Afluente sin nombre 8	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
11	Quebrada el Campamento	0,28	0,31	0,33	0,37	0,4	0,44
12	Afluente sin nombre 9	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
13	Quebrada La Rosala	0,28	0,31	0,34	0,38	0,41	0,45
14	Quebrada La Ardita	0,3	0,33	0,35	0,39	0,42	0,46
15	Afluente sin nombre 10	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
16	Afluente sin nombre 11	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
17	Afluente sin nombre 12	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
18	Afluente sin nombre 13	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
19	Afluente sin nombre 14	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
20	Quebrada La Sapo	0,29	0,32	0,34	0,38	0,41	0,45
21	Afluente sin nombre 15	0,28	0,32	0,34	0,38	0,41	0,45
22	Quebrada La Tuntuna	0,34	0,37	0,39	0,43	0,46	0,5
23	Quebrada La Torre	0,28	0,31	0,33	0,37	0,4	0,44
24	Afluente sin nombre 16	0,26	0,3	0,32	0,36	0,39	0,43
25	Afluente sin nombre 17	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49
26	Afluente sin nombre 18	0,3	0,33	0,35	0,39	0,42	0,46
27	Directos al río Cauca	0,28	0,31	0,33	0,37	0,4	0,44

Fuente: SAG, 2024

- Método racional

Este modelo, descrito por Ven Te Chow<sup>105</sup>, que sido ampliamente empleado para la caracterización de caudales máximos instantáneos en cuencas no instrumentadas, con área menor a 2,5 km<sup>2</sup>, de acuerdo con lo establecido en el Manual de drenaje para carreteras del Inviás<sup>106</sup>, donde se aplica la hipótesis de saturación de la cuenca, aunque usualmente se realiza la sobre estimación de los caudales máximos. La ecuación del método racional es:

$$Q = \frac{c * i * A}{3,6}$$

Donde:

<sup>105</sup> CHOW, V.T., MAIDMENT, D., MAYS, L. Hidrología aplicada. Bogotá. Mcgraw-Hill interamericana. pp511. 1994.

<sup>106</sup> INVIAS, I. N. Manual de Drenaje para carreteras. Bogota. 2009.

- Q es el caudal en m<sup>3</sup>/s
- c es el coeficiente de escorrentía (adimensional) que depende de la cobertura vegetal principalmente
- i es la intensidad de la precipitación en mm/h
- A es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Los insumos para la determinación de los caudales máximos incluyen, en cualquier caso, la estimación del tiempo de concentración de la cuenca definido como el tiempo que le toma a una gota que cae en el punto más alejado de la cuenca en llegar hasta el punto de cierre, descrita anteriormente, el coeficiente de escorrentía y el área de la cuenca. En la Tabla 5-79 se presenta el consolidado de la estimación del caudal máximo para cada cuenca.

- Caudales máximos finales

A partir de la información detallada previamente se calculan los caudales máximos de las distintas cuencas identificadas y su resultado se resume en la Tabla 5-74, en la cual se especifica para cada cuenca el área, la metodología empleada de estimación, y el caudal máximo final para cada periodo de retorno.

**Tabla 5-79. Caudales máximos (m<sup>3</sup>/s) para diferentes periodos de retorno.**

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Caudales máximos método racional (m <sup>3</sup> /s)					
		2,33	5	10	25	50	100
1	Afluente sin nombre 1	9,05	11,58	13,56	16,84	19,45	22,72
2	Afluente sin nombre 2	5,34	6,84	8,02	10,00	11,57	13,55
3	Quebrada Dos Quebradas	20,66	26,30	30,63	37,55	43,01	49,78
4	Afluente sin nombre 3	4,98	6,39	7,48	9,33	10,80	12,65
5	Quebrada Las Palmeras	27,38	34,70	40,60	50,03	57,49	66,66
6	Afluente sin nombre 4	3,23	4,14	4,85	6,05	7,00	8,20
7	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	6,26	9,32	11,58	14,78	17,89	21,95
8	Afluente sin nombre 6	3,39	4,35	5,10	6,36	7,36	8,62
9	Afluente sin nombre 7	7,20	9,14	10,65	13,17	15,16	17,58
10	Afluente sin nombre 8	2,47	3,17	3,71	4,63	5,36	6,28
11	Quebrada el Campamento	14,89	18,94	22,17	27,31	31,37	36,44
12	Afluente sin nombre 9	5,25	6,74	7,89	9,84	11,39	13,35
13	Quebrada La Rosala	46,6	59,13	69,38	85,39	98,06	113,84
14	Quebrada La Ardita	59,05	74,53	86,94	106,58	122,10	140,80
15	Afluente sin nombre 10	3,46	4,44	5,20	6,48	7,51	8,79
16	Afluente sin nombre 11	6,36	8,15	9,55	11,91	13,79	16,15
17	Afluente sin nombre 12	1,09	1,40	1,64	2,04	2,37	2,77
18	Afluente sin nombre 13	7,96	10,21	11,97	14,92	17,27	20,23
19	Afluente sin nombre 14	0,39	0,49	0,58	0,72	0,84	0,98
20	Quebrada La Sapo	29,83	37,98	44,26	54,37	62,37	72,27
21	Afluente sin nombre 15	6,02	7,70	8,95	11,02	12,65	14,69
22	Quebrada La Tuntuna	41,87	52,17	60,76	73,62	83,72	95,40

ID Cuenca	Nombre Cuenca	Caudales máximos método racional (m <sup>3</sup> /s)					
		2,33	5	10	25	50	100
23	Quebrada La Torre	40,22	51,05	59,94	73,99	85,12	98,97
24	Afluente sin nombre 16	4,69	6,00	7,01	8,69	10,02	11,69
25	Afluente sin nombre 17	2,42	3,03	3,58	4,35	4,96	5,71
26	Afluente sin nombre 18	7,27	9,17	10,80	13,24	15,16	17,56
27	Directos al río Cauca	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

*Fuente: SAG, 2024*

Las cuencas de mayor área como la Quebrada la Rosala, la Ardita, La Tuntuna y la Torre son las cuencas que presentan los mayores caudales, mientras que las cuencas de áreas más pequeñas como los afluentes sin nombre 4, 6, 8, 10 y 12 son los que presentan los caudales, intensidades y tiempos de concentración más pequeños. Es importante resaltar que, para la cuenca denominada Directos al río Cauca no se calculó ningún parámetro dado que no es una corriente completa, sino que pertenece solo a un tramo.

#### 5.1.6.10.4 Caracterización de caudales

Con el fin de validar los caudales presentados tanto máximos, mínimos y medios, medidos a partir de metodologías indirectas, se aplicará la metodología de transposición de caudales, a partir del caudal medido en la estación limnigráfica más cercana al proyecto denominada “Brasilia” (26197020), vecina a las cuencas de estudio, en la corriente del río Bolívar. Estas metodologías indirectas utilizan parámetros hidroclimatológicas y morfométricos que permiten estimar el régimen hidrológico si no se cuenta con información de caudales instantáneos en las cuencas de interés.

Para la estimación de los caudales máximos, medios y mínimos instantáneos en las tres cuencas se empleó la metodología de transposición de caudales, que considera que, si dos cuencas hidrográficas son hidráulicamente similares en todos sus aspectos, entonces se cumple una relación entre el caudal y el área, que permite hallar los caudales de una cuenca sin instrumentar: es decir, sin una estación que mida en tiempo real los caudales o el nivel de la lámina de agua, respecto a una cuenca similar que si este instrumentalizada. Así mismo las crecientes extremas también están relacionadas con el área de drenaje mediante la siguiente expresión:

$$\frac{Q_c}{A_c P_c} = \frac{Q_s}{A_s P_s}$$

Al considerar que las precipitaciones son homogéneas dentro de la misma cuenca, se obtiene:

$$Q_s = Q_c \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^n$$

- $Q_s$ =caudal de la cuenca sin información (m<sup>3</sup>/s)
- $Q_c$ =caudal de la cuenca con información (m<sup>3</sup>/s)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- $A_s$ =área de la cuenca sin información (km<sup>2</sup>)
- $A_c$ =área de la cuenca con información (km<sup>2</sup>)
- n=coeficiente de calibración

El coeficiente de calibración n se obtiene de graficar la expresión anterior en un papel doblemente logarítmico, donde n sería la pendiente. Según Leopold<sup>107</sup>, n varía entre 0,65 y 0,80; con un valor promedio de 0,75 ó  $\frac{3}{4}$ , siendo más cercano a la unidad en zonas húmedas y disminuyendo hacia zonas secas, Johnston y Cross. De esta forma se utilizó la siguiente expresión para hallar los caudales de la cuenca en cuestión:

$$Q_s = Q_c \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^{\frac{3}{4}}$$

El método de transferencia de caudales diarios y mensuales, en zonas con escasa instrumentalización, requiere de los siguientes insumos:

- Identificación de una cuenca cercana que cuente con registros de información hidrometeorológica de 20 años o más y que sea similar hidráulicamente a la cuenca de estudio
- Cálculo de ecuaciones de transferencia de caudales dependiendo de la información disponible
- Validar la información por medio de análisis de consistencia y homogeneidad para determinar la validez de la información
- Limitar las ecuaciones de transferencia de caudal en función del área de drenaje
- Identificación y selección de la estación de caudal

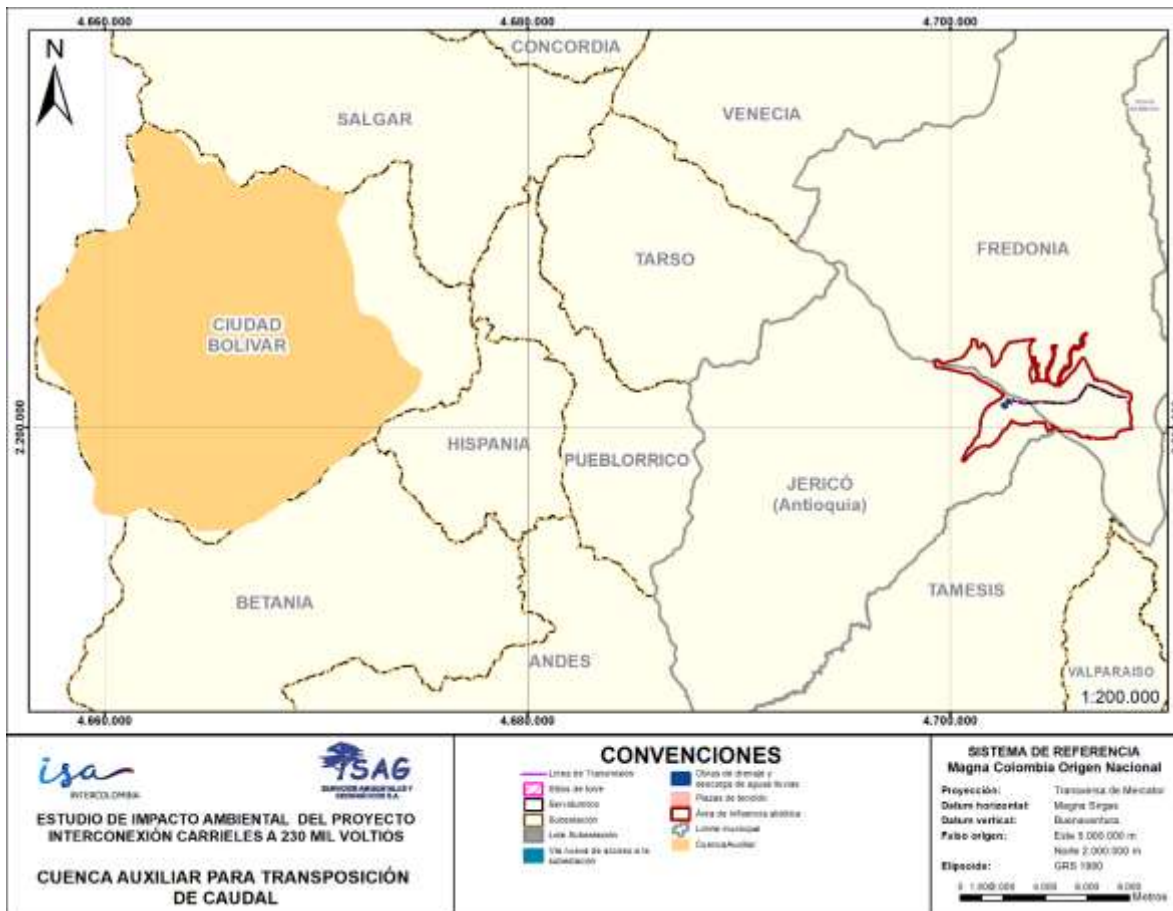
La información de las estaciones de caudal se obtuvo mediante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), corresponde a los caudales medios diarios desde el año 1985 hasta el 2020, de la estación limnigráfica “Brasilia” (26197020) en el municipio de Ciudad Bolívar, Antioquia, cerca de la cuenca de estudio, la cual se muestra en la Figura 5-57 y se describe en la Tabla 5-80.

**Tabla 5-80. Estación limnigráfica del IDEAM seleccionada para transposición de caudales.**

Código	Nombre	Categoría	Estado	Fecha de instalación	Fecha de suspensión
26197020	BRASILIA	Limnigráfica	Activa	15/09/1970	--

Fuente: IDEAM, 2010

<sup>107</sup> LEOPOLD, L. B. A view of the river. Harvard University Press, 1994.

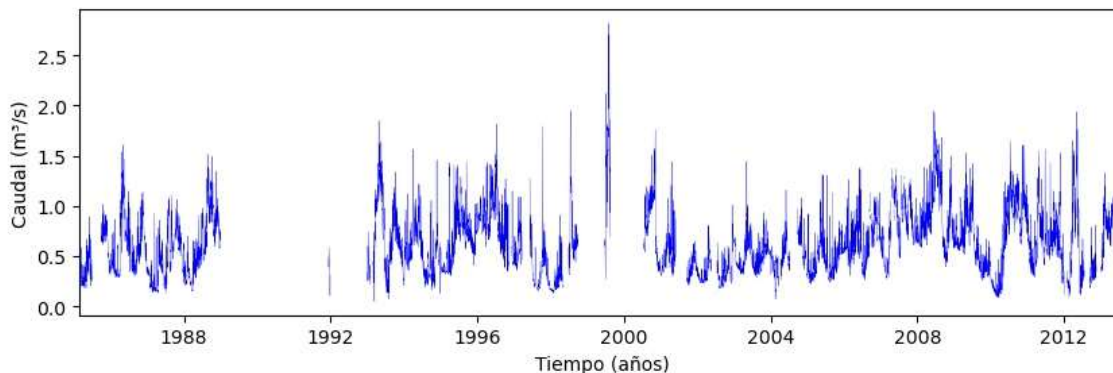


**Figura 5-57. Cuenca del río Bolívar y de la estación Limnigráfica Brasilia (26197020), utilizados para la transposición de caudales.**  
Fuente: SAG, 2024

Se seleccionó la cuenca del río Bolívar ya que las características regionales y de condiciones hidroclimatológicas son similares a las cuencas de estudio, al pertenecer ambas a la subzona hidrográfica del complejo Magdalena-Cauca. La cuenca cuenta con un área de 220,43 km<sup>2</sup> hasta el punto de la estación limnigráfica Brasilia (26197020), cuyo caudal promedio es de 8,03 m<sup>3</sup>/día. Esta cuenca y su correspondiente estación limnigráfica se escogieron por su cercanía con las cuencas de interés, ya que es la cuenca más cercana (24 km) y más pequeña en comparación con otras de mayor tamaño que también cuentan con estaciones limnigráficas.

Finalmente se presenta en la Figura 5-59 la serie de caudal anual simulada con la metodología de transposición de caudales para una de las cuencas de estudio: quebrada

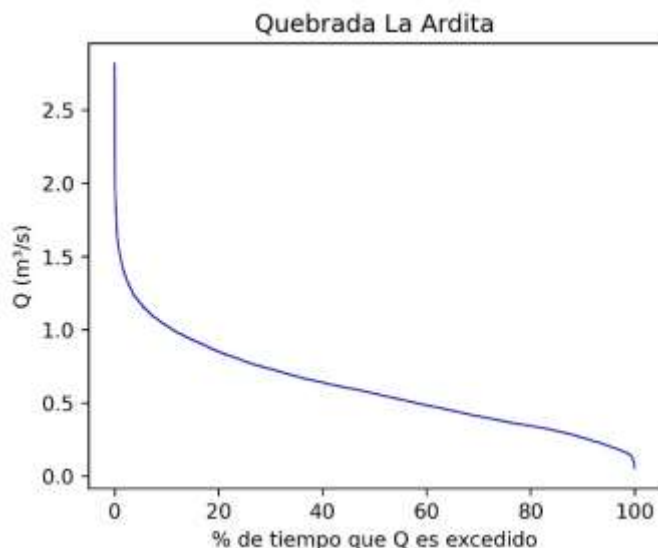
La Ardita, cuyos caudales provienen de la estación Brasilia que tiene un porcentaje de datos faltantes de 29%, por lo que se presenta el vacío de información desde 1989 hasta 1993.



**Figura 5-58. Simulación de caudal anual en la cuenca La Ardita.**

*Fuente: SAG, 2022*

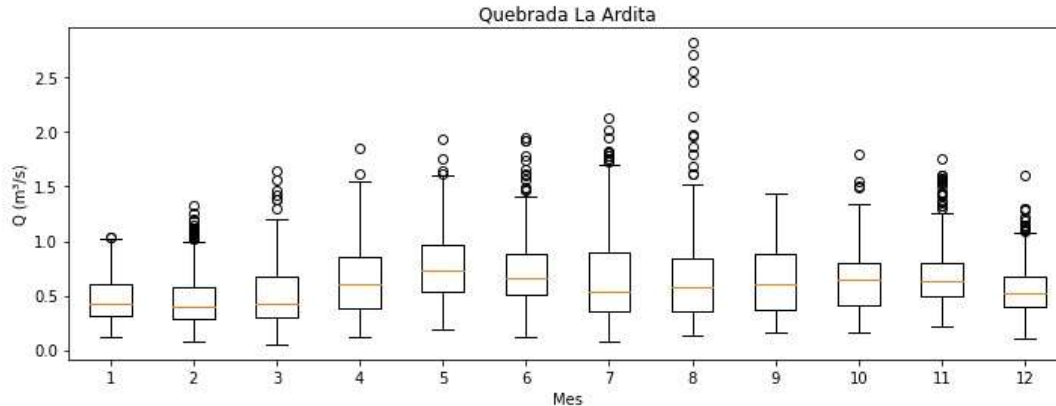
En la Figura 5-59 se presenta la curva de duración de caudales obtenida para la cuenca La Ardita, a partir del análisis de datos de caudal medio diario registrado para la estación Brasilia. Se escoge únicamente mostrar los resultados de esta cuenca, dado que es la cuenca más grande y es la que tiene el mayor caudal de las 27 cuencas, su caudal máximo es de 2,81 m<sup>3</sup>/s, según la serie de datos simulada. El resto de curvas de duración de caudales se presentan en el ANEXO\_5\_1\_8\_CURVA\_DURACION\_CAUDAL.



**Figura 5-59. Curva de duración de caudal de la estación La Ardita.**

*Fuente: SAG, 2024*

Los caudales mensuales de la cuenca de la quebrada La Ardita, mediante el diagrama de caja que se encuentra en la Figura 5-60, muestran que la mayor dispersión de los datos se da en los meses de junio y julio, con valores atípicos muy superiores al caudal máximo, lo que puede indicar el régimen unimodal de caudales que presentan el único pico en la mitad del año.



**Figura 5-60. Diagramas de cajas mensuales de la cuenca de la quebrada La Ardita.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.10.5 Caudal ambiental

El caudal ambiental, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua.

Dado que las cuencas del área de influencia no se encuentran instrumentadas, no se cuenta con registros históricos de caudales, por ende, no es posible hacer un análisis estadístico para definir el caudal ecológico a partir de las diferentes metodologías existentes.

En este contexto y con el fin de obtener un valor de referencia, se determinó para este caso el caudal ambiental utilizando curvas de duración de caudales construidas para cada estación como el índice Q95%, este índice corresponde al caudal excedido el 95% del tiempo según la curva construida y corresponde a la primera propuesta de caudales ambientales.

Según la metodología del IDEAM, que lo establece como el 25% de caudal medio mensual multianual más bajo de la serie natural (Resolución 865 de 2004)<sup>108</sup>, presentados en la Tabla 5-81.

<sup>108</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 865 de 2004.



**Tabla 5-81. Caudal ambiental mensual obtenido para las cuencas evaluadas.**

Nombre cuenca	Caudales ambientales (m <sup>3</sup> /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Afluente sin nombre 1	0,01 2	0,01 2	0,01 3	0,01 7	0,02 0	0,01 9	0,01 8	0,01 7	0,01 7	0,01 7	0,01 8	0,01 4
Afluente sin nombre 2	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 7	0,00 9	0,00 8	0,00 8	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 8	0,00 6
Quebrada Dos Quebradas	0,02 9	0,02 9	0,03 1	0,04 1	0,04 9	0,04 5	0,04 3	0,04 0	0,04 0	0,04 1	0,04 2	0,03 5
Afluente sin nombre 3	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 6	0,00 7	0,00 6	0,00 6	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 6	0,00 5
Quebrada Las Palmeras	0,02 7	0,02 7	0,02 8	0,03 8	0,04 5	0,04 1	0,03 9	0,03 7	0,03 7	0,03 8	0,03 9	0,03 2
Afluente sin nombre 4	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 6	0,00 7	0,00 6	0,00 6	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 6	0,00 5
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,01 4	0,01 3	0,01 4	0,01 9	0,02 3	0,02 1	0,02 0	0,01 9	0,01 9	0,01 9	0,02 0	0,01 6
Afluente sin nombre 6	0,00 3	0,00 3	0,00 3	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 5	0,00 4
Afluente sin nombre 7	0,00 6	0,00 5	0,00 6	0,00 8	0,00 9	0,00 9	0,00 8	0,00 8	0,00 8	0,00 8	0,00 8	0,00 7
Afluente sin nombre 8	0,00 3	0,00 3	0,00 3	0,00 5	0,00 6	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 4
Quebrada El Campamento	0,01 4	0,01 4	0,01 5	0,02 0	0,02 4	0,02 2	0,02 1	0,02 0	0,02 0	0,02 0	0,02 1	0,01 7
Afluente sin nombre 9	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 7	0,00 8	0,00 8	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 6
Quebrada La Rosala	0,08 6	0,08 5	0,09 0	0,12 1	0,14 3	0,13 1	0,12 5	0,11 9	0,11 8	0,12 0	0,12 4	0,10 2
Quebrada La Ardita	0,11 5	0,11 4	0,12 2	0,16 2	0,19 3	0,17 6	0,16 9	0,15 8	0,15 9	0,16 1	0,16 7	0,13 7
Afluente sin nombre 10	0,00 3	0,00 3	0,00 3	0,00 4	0,00 5	0,00 5	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 4
Afluente sin nombre 11	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 6	0,00 7	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,00 5
Afluente sin nombre 12	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 2	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1
Afluente sin nombre 13	0,00 4	0,00 4	0,00 4	0,00 5	0,00 6	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 4
Afluente sin nombre 14	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 1
Quebrada La Sapo	0,02 1	0,02 1	0,02 2	0,02 9	0,03 5	0,03 2	0,03 1	0,02 9	0,02 9	0,02 9	0,03 0	0,02 5
Afluente sin nombre 15	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 7	0,00 9	0,00 8	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 7	0,00 6
Quebrada Tuntuna	0,05 9	0,05 8	0,06 2	0,08 2	0,09 8	0,09 0	0,08 6	0,08 1	0,08 0	0,08 2	0,08 5	0,07 0
Quebrada La Torre	0,06 7	0,06 6	0,07 0	0,09 4	0,11 1	0,10 2	0,09 7	0,09 2	0,09 1	0,09 3	0,09 6	0,07 9
Afluente sin nombre 16	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 7	0,00 8	0,00 7	0,00 7	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,00 7	0,00 6
Afluente sin nombre 17	0,00 1	0,00 1	0,00 1	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 2	0,00 1	0,00 2	0,00 2	0,00 1
Afluente sin nombre 18	0,00 5	0,00 5	0,00 5	0,00 7	0,00 8	0,00 7	0,00 7	0,00 6	0,00 6	0,00 7	0,00 7	0,00 6



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  
INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



Rev. No.: 4    2024-08-08

Nombre cuenca	Caudales ambientales (m <sup>3</sup> /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directos al río Cauca	0,02 8	0,02 7	0,02 9	0,03 9	0,04 6	0,04 2	0,04 0	0,03 8	0,03 8	0,03 8	0,04 0	0,03 3

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.6.10.6 Oferta hídrica

Según Corponariño<sup>109</sup>, la oferta hídrica es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Por otro lado, corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre.

Para determinar la oferta hídrica mensual en cada una de las cuencas evaluadas se descontó a la oferta hídrica total el caudal ambiental evaluado en el numeral anterior. Los resultados obtenidos para la oferta hídrica disponible se pueden observar en la Tabla 5-82. En el ANEXO\_5\_1\_9\_SERIES se presenta la información correspondiente con la memoria de cálculo.

**Tabla 5-82. Oferta hídrica disponible para las cuencas evaluadas.**

Nombre cuenca	Oferta hídrica (m <sup>3</sup> /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Afluente sin nombre 1	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Afluente sin nombre 2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Quebrada Dos Quebradas	0,09	0,09	0,09	0,12	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,10
Afluente sin nombre 3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Quebrada Las Palmeras	0,08	0,08	0,09	0,11	0,14	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,10
Afluente sin nombre 4	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
Afluente sin nombre 6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

<sup>109</sup> CORPONARIÑO. Oferta y demanda hídrica, 2011. Disponible en: <https://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

Nombre cuenca	Oferta hídrica (m <sup>3</sup> /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Afluente sin nombre 7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Afluente sin nombre 8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Quebrada El Campame nto	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
Afluente sin nombre 9	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Quebrada La Rosala	0,26	0,25	0,27	0,36	0,43	0,39	0,38	0,36	0,35	0,36	0,37	0,31
Quebrada La Ardita	0,35	0,34	0,36	0,49	0,58	0,53	0,51	0,48	0,48	0,48	0,50	0,41
Afluente sin nombre 10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Afluente sin nombre 11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Afluente sin nombre 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Afluente sin nombre 13	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Afluente sin nombre 14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada La Sapo	0,06	0,06	0,07	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07
Afluente sin nombre 15	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Quebrada Tuntuna	0,18	0,17	0,19	0,25	0,29	0,27	0,26	0,24	0,24	0,25	0,25	0,21
Quebrada La Torre	0,20	0,20	0,21	0,28	0,33	0,31	0,29	0,28	0,27	0,28	0,29	0,24
Afluente sin nombre 16	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Afluente sin nombre 17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Afluente sin nombre 18	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Nombre cuenca	Oferta hídrica (m <sup>3</sup> /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directos al río Cauca	0,08	0,08	0,09	0,12	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,10

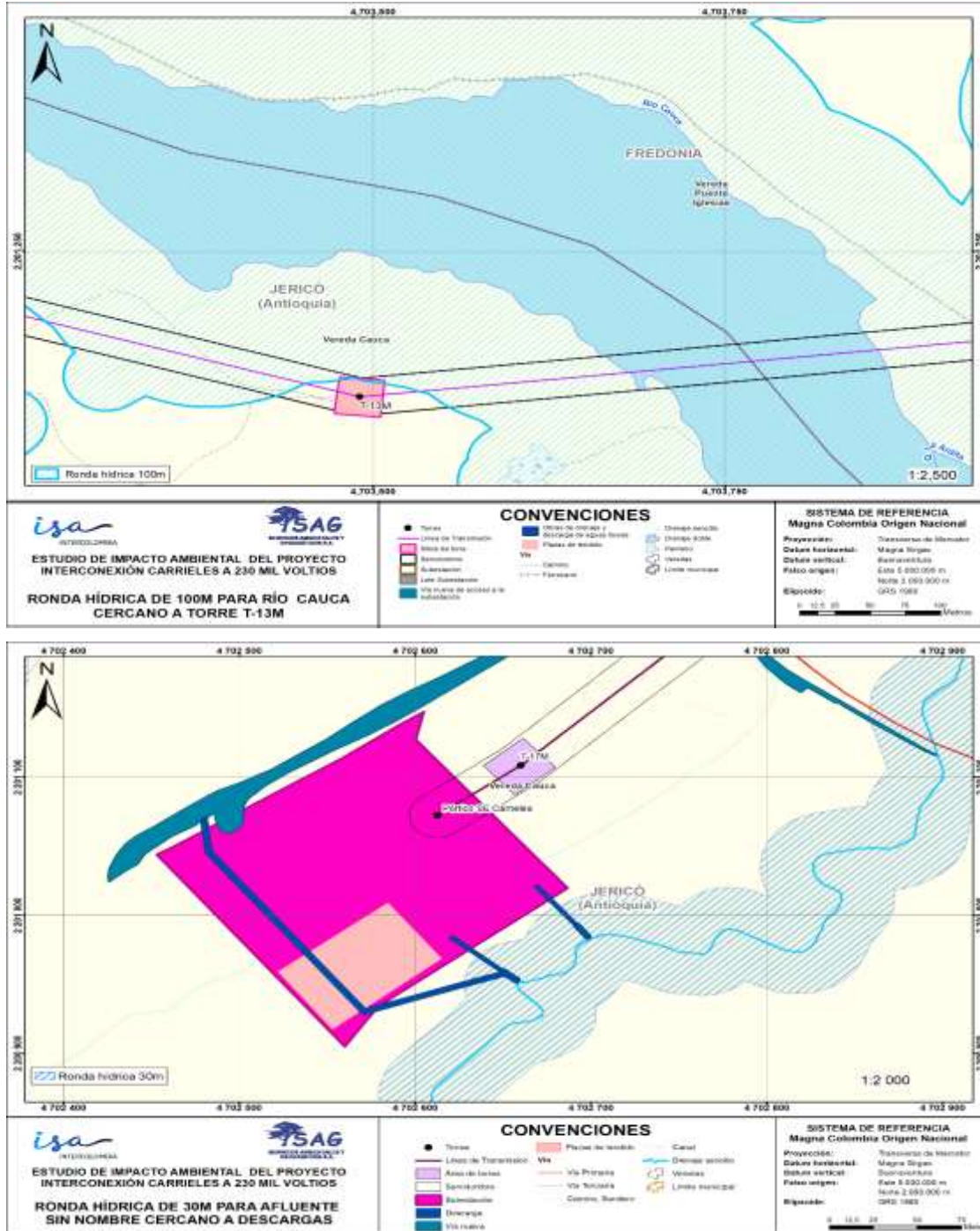
Fuente: SAG, 2024

### 5.1.6.11 Verificación de cuerpos de aguas superficiales a intervenir

Con el propósito de analizar las posibles intervenciones a los cuerpos de agua superficiales que se encuentran cerca de sitios de torres del proyecto, se realizó una verificación de las franjas de retiro mínimo establecidos en el Decreto Ley 2811 de 1974, Decreto 1449 de 1997, Ley 1450 de 2011, Decreto 1076 de 2015 y Decreto 2245 de 2017, en donde se establece que *la ronda hídrica comprende la franja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta treinta metros (30 m) y 100 metros para nacimientos.*<sup>110</sup>

Con base en lo anterior, se obtuvo de forma preliminar la verificación de las obras de descarga de aguas lluvias que se construirán en la Subestación Carrieles a 230 mil voltios, las cuales se traslapan con la franja de retiro de la Quebrada NN (Afluente sin nombre 5). De forma análoga, la torre T-13M se interseca con la franja de 100 m definida cartográficamente teniendo en cuenta la magnitud en el régimen de caudales del río Cauca (ver [Figura 5-61](#)). Con el propósito de verificar la posible afectación a los drenajes cercanos a la infraestructura, se desarrolló la hidrología de cada una de las cuencas asociadas. Así mismo, se realizó un análisis detallado de las machas de inundación haciendo uso del software HEC-RAS 6.4.1 en sus módulos 1D y 2D. Estos análisis, unidos a los demás criterios normativos de evaluación, arrojaron las rondas hídricas y conclusiones descritas a continuación:

<sup>110</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Decreto 2245 de 2017. “Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas”. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/decreto-2245-de-2017.pdf>



**Figura 5-61. Verificación preliminar de la franja de retiro a cuerpos de agua.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.11.1 Torre T-13M

Sobre la torre T-13M se realizó un análisis inicial propicio para la categoría y magnitud de la fuente de evaluación (río Cauca), considerando un margen de ronda hídrica que cubriera un buffer de 100 m medidos a partir del canal activo del río, siendo este en la zona de interés fácilmente identificado por sus bancas. Dicho análisis, fue complementado con la simulación hidráulica de los caudales máximos característicos, en este caso, especialmente el de 15 años de periodo de retorno, acorde con los términos de referencia mencionados anteriormente.

Es importante mencionar que, para este caso se realizó un levantamiento topobatemétrico a partir del cual se pudo obtener información de los perfiles transversales en dos sitios definidos, así como datos detallados sobre velocidad y su distribución en diferentes profundidades del río Cauca, necesarios para entender el comportamiento hidráulico de esta corriente.

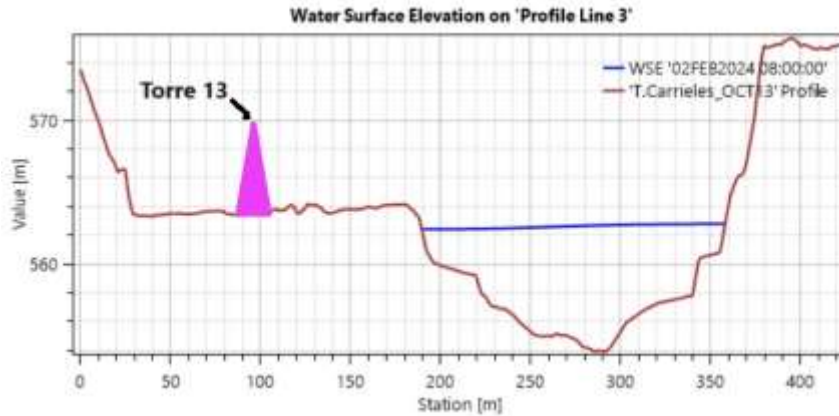
Considerando la información primaria de topobatemetría, los elementos de construcción de terreno, calibración, validación y finalmente la ejecución del modelo (ver Capítulo 7, numeral 7.4); se obtuvo la mancha de inundación mostrada en la Figura 5-62.



**Figura 5-62. Mancha de inundación sobre la fuente de interés escenario QTr 15 años (Torre T-13M).**

*Fuente: SAG, 2024*

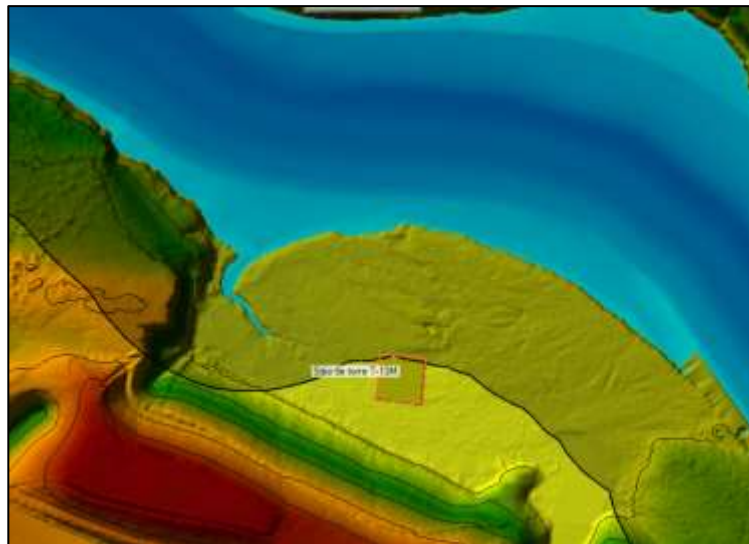
En la Figura 5-63 se presenta la sección transversal y los niveles, asociados a un periodo de retorno de 15 años.



**Figura 5-63. Sección transversal para el escenario QTr 15 años (Torre T-13M).**

*Fuente: SAG, 2024*

Finalmente, al realizar la validación de la mancha de inundación asociada al periodo de retorno de 15 años, y comparándola con la franja de 100 m estipulada inicialmente; se encontró que sigue predominando esta última franja, tal y como se muestra en la Figura 5-64.

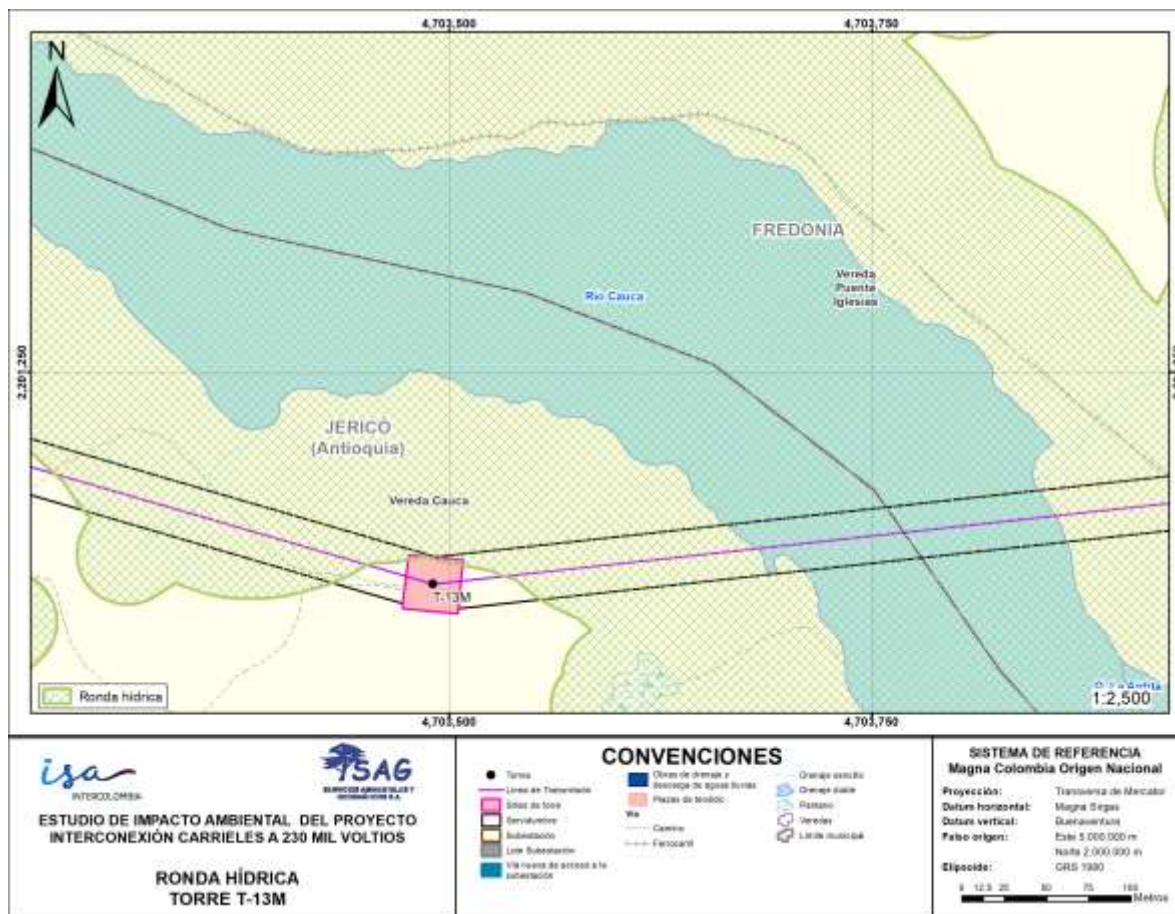


**Figura 5-64. Detalle mancha Tr 15 años y buffer 100 m desde bancas activas del canal (Torre 13-M).**

*Fuente: SAG, 2024*



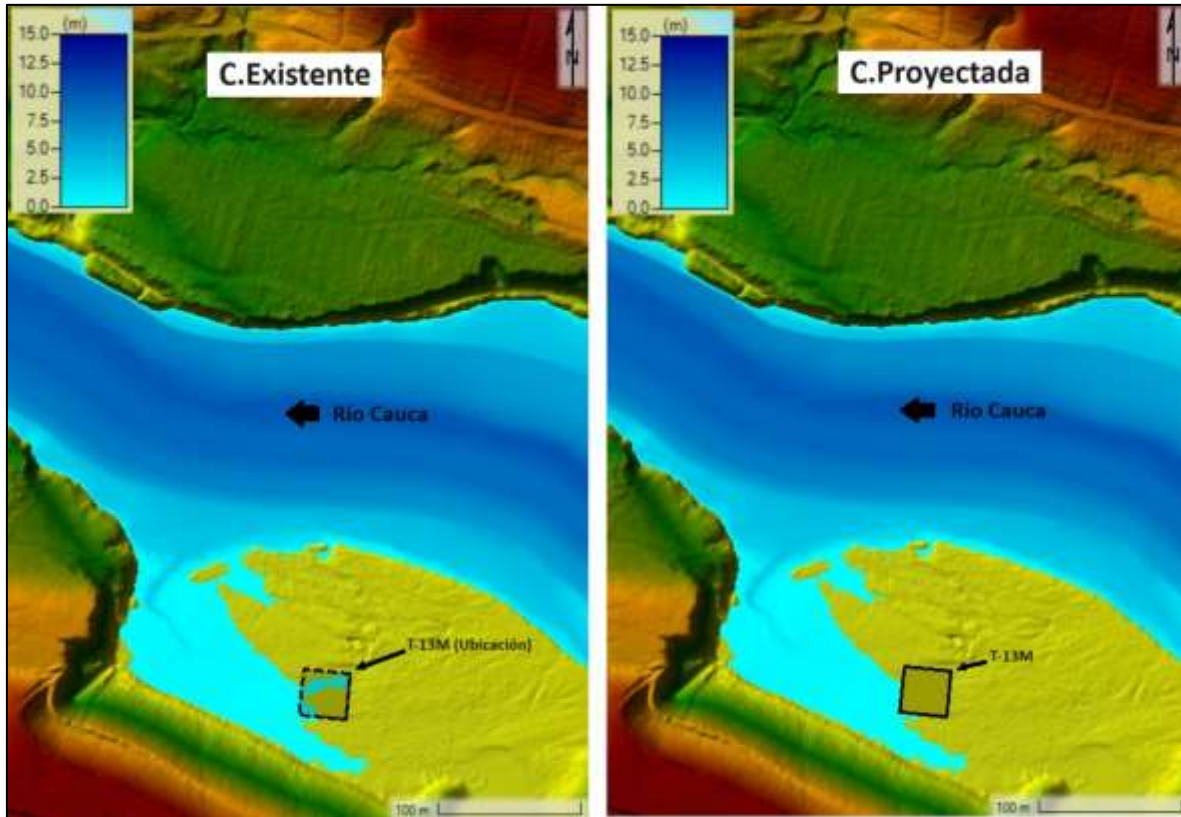
En conclusión, no se posee influencia desde las manchas de inundación (Tr 15 años) para esta torre, donde en función de las magnitudes de lámina en la sección se evidencia que el Río Cauca posee capacidad de transitar caudales para periodos de retorno mayores. Por otro lado, considerando los aspectos de mancha de inundación, y acotando los demás criterios acorde a los términos de referencia, se obtuvo la ronda hídrica mostrada en la Figura 5-65.



**Figura 5-65. Ronda hídrica sector torre T-13M.**

Fuente: SAG, 2024

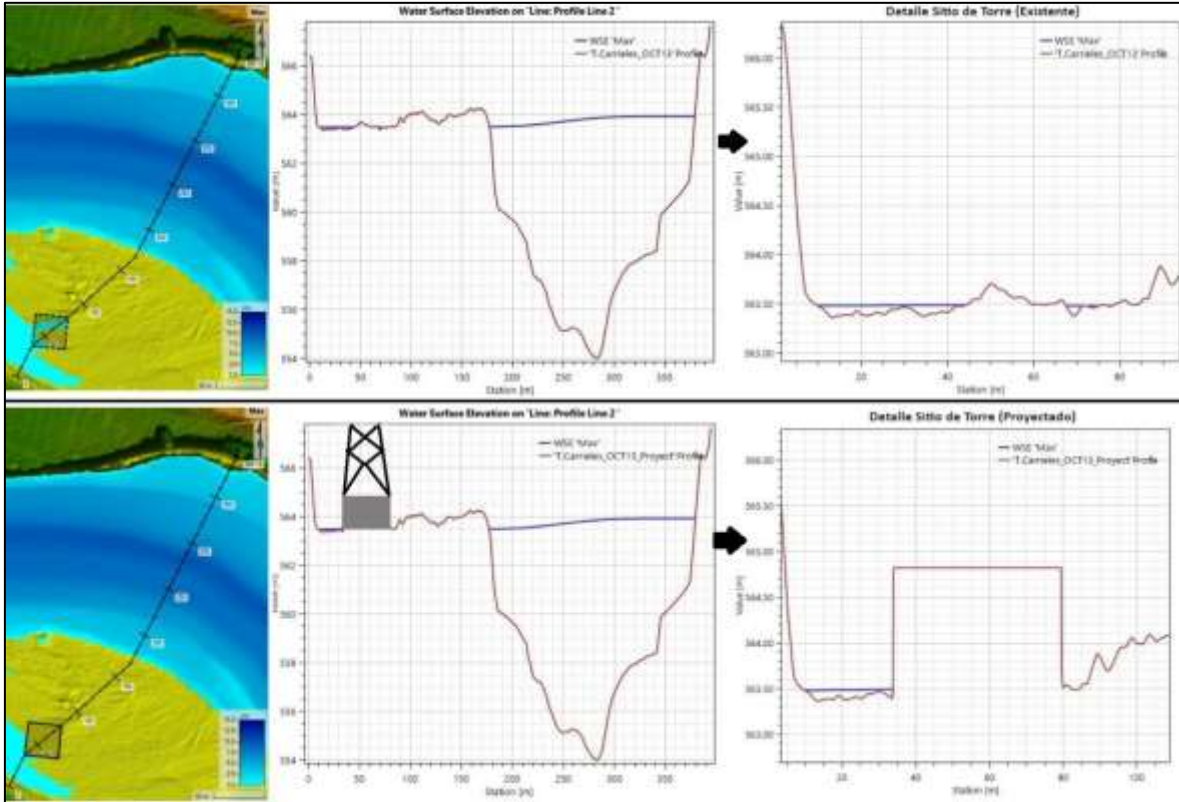
Igualmente, se realizó el análisis considerando un caudal extremo de diseño de 100 años de periodo de retorno, al realizar su evaluación (ver detalles y procedimientos de construcción del modelo en el Capítulo 7, numeral 7.4) se encontró que, el área donde se proyecta la cimentación de la Torre T-13M, entra en contacto con los niveles asociados a dicho periodo de retorno, como se detalla en la Figura 5-66 (ver C. Existente).



**Figura 5-66. Mancha de inundación Tr 100 años T-13M.**

*Fuente: SAG, 2024*

Realizando el trazado transversal sobre el canal del Río Cauca, tanto para condiciones existentes como proyectadas, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 5-67. Dichos niveles se asocian a la inundación directa del caudal procedente del río evaluado, el cual, mediante un canal existente de un tributario intermitente inunda sutilmente la zona de torre con láminas variables entre 0,1 y 0,3 m. Considerando la combinación de eventos directos (sumados a la inundación del Río Cauca) sea de lluvia en la zona de torre o de caudales sobre el tributario intermitente mencionado; se opta por una altura mínima de protección por inundación de 1,0 m mediante un pedestal en concreto reforzado u otro material según diseño estructural de la torre.



**Figura 5-67. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años sitio de torre T-13M.**

*Fuente: SAG, 2024*

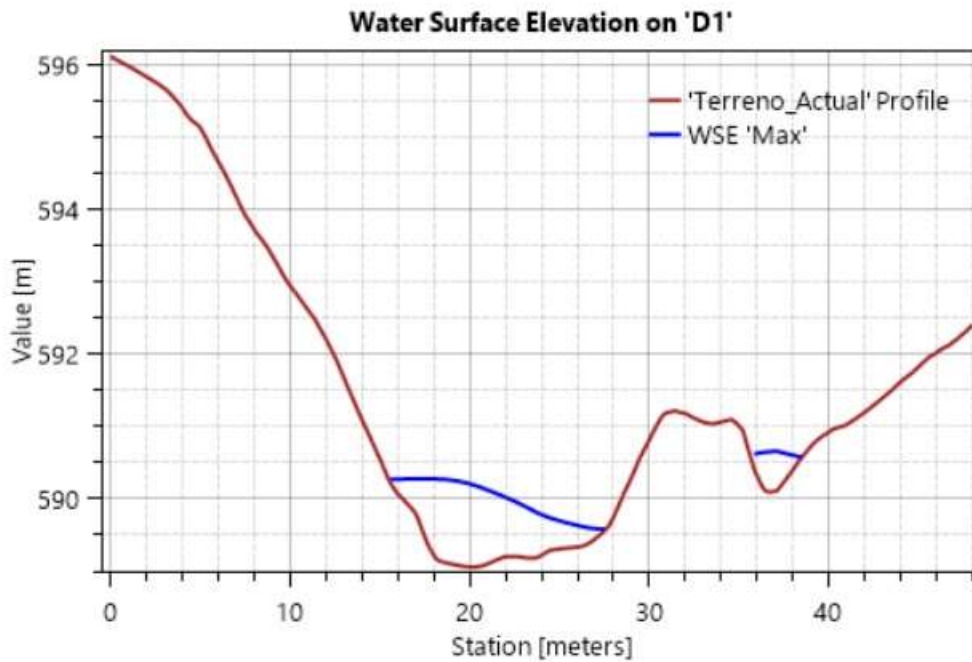
Acorde con la evaluación y resultados obtenidos, se manifiesta la necesidad de solicitud de ocupación de cauce para la cimentación de la torre T-13M, la cual consiste en un pedestal de sección rectangular (ver Figura 5-66, C. Proyectada) de 1044 m<sup>2</sup> y altura mínima de 1,0 m medidos desde el nivel actual del suelo. En el Capítulo 7 Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales, se describen y relacionan los respectivos documentos de soporte para la solicitud del permiso de ocupación de cauce.

#### 5.1.6.11.2 Obras de descarga de aguas lluvias

Para el drenaje de las aguas lluvias en el patio de la Subestación Carrieles se plantean dos descargas sobre el afluente sin nombre 5 (Quebrada NN). Para ello se prevé la instalación de tuberías colectoras de PVC que terminan en un cabezote de concreto reforzado y un empedrado final en aras de evitar la socavación de la corriente en mención.

Con el propósito de verificar la posible afectación a la corriente donde se proyectan las descargas, se realizó un análisis de las manchas de inundación para un periodo de retorno

de 100 años. Desde la Figura 5-68 hasta la Figura 5-71 se muestra el detalle de las obras proyectadas teniendo en cuenta la sección transversal y la extensión de la mancha Tr 100 años. El detalle de la modelación hidráulica realizada se muestra en el numeral 7.4 del capítulo 7 de Demanda de Recursos Naturales.



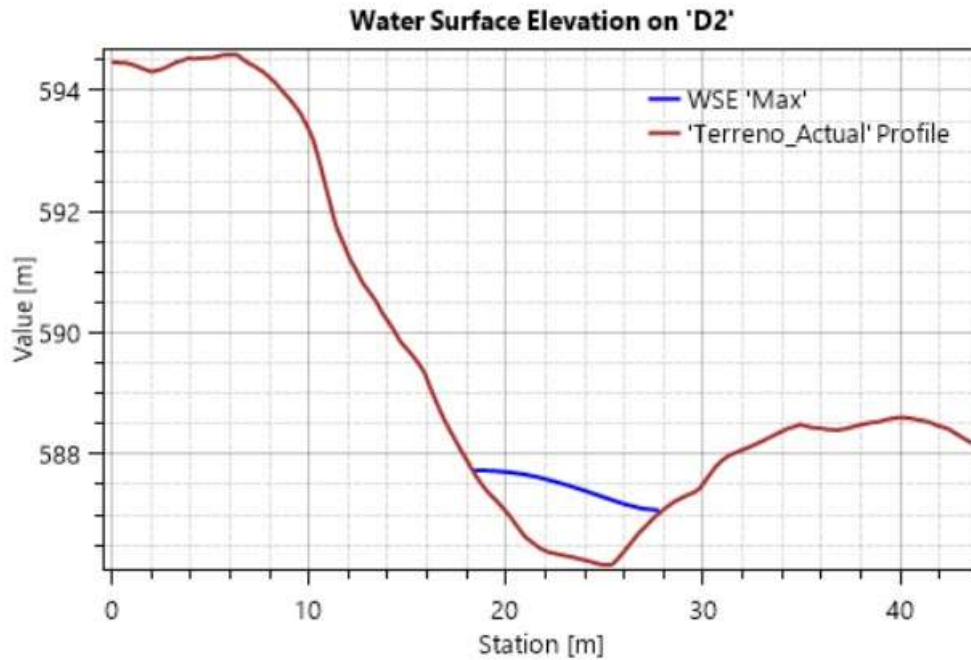
**Figura 5-68. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años. Descarga 1.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-69. Detalle mancha de inundación para el escenario de  $T_r = 100$  años. Descarga 1.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-70. Sección transversal para el escenario de Tr 100 años. Descarga 2.**

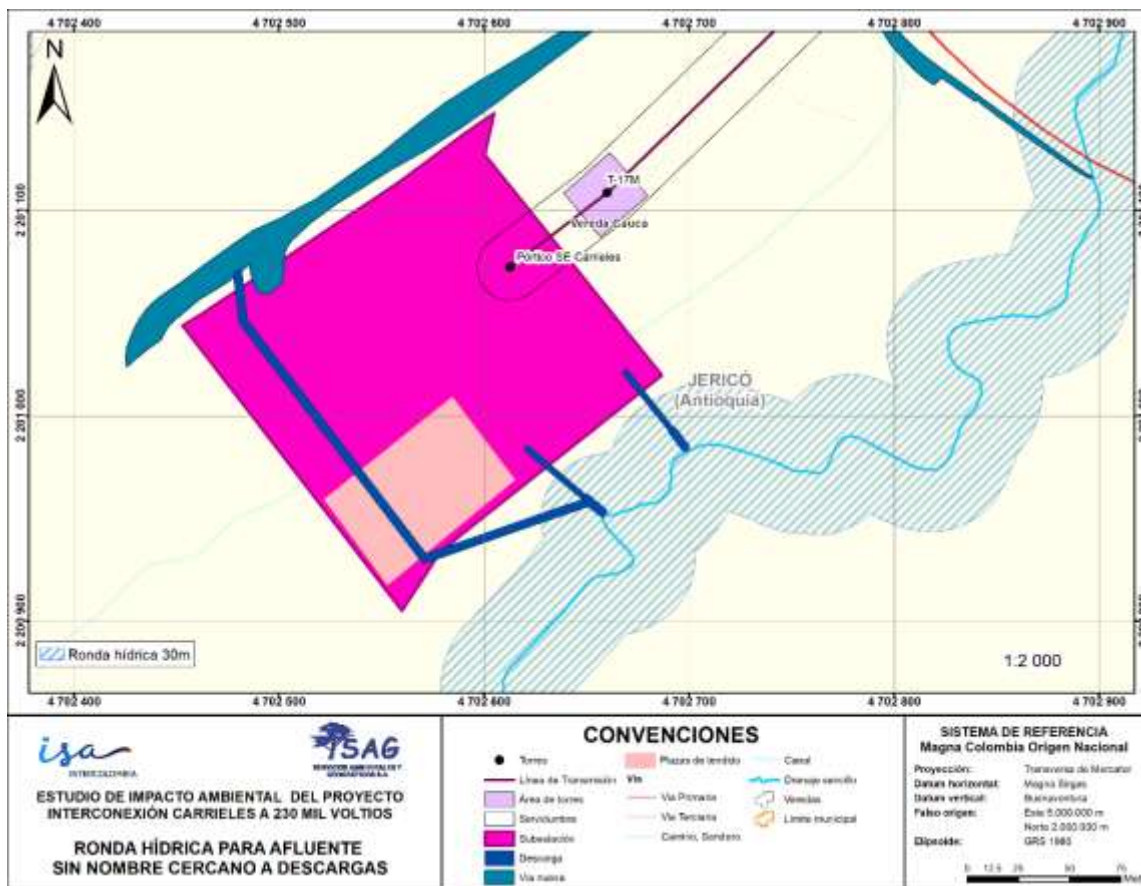
*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-71. Detalle mancha de inundación para el escenario de  $T_r = 100$  años. Descarga 2.**

*Fuente: SAG, 2024*

Para el evento de los cien años con condiciones proyectadas (descargas), se alcanzan profundidades de 1,19 y 1,20 m para las descargas 1 y 2, respectivamente. Sin embargo, la corriente evidencia capacidad de transitar caudales para periodos de retorno mayores. Por todo lo anterior, se conservó la ronda de 30 m para el Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN) definida con base en lo establecido normativamente; dicha ronda se muestra en la Figura 5-72.



**Figura 5-72. Ronda hídrica definida para el Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN).**

*Fuente: SAG, 2024*

Finalmente, en la Tabla 5-83 se muestra a manera de resumen los resultados de la verificación de las franjas de retiro para las obras del proyecto.



**Tabla 5-83. Distancias mínimas de cada torre a las zonas de retiro y/o rondas hídricas.**

Obra civil	Altura torre (m) (desde centro de torre hasta punto más alto)	Tipo torre	Apertura entre patas (mxm)	Fuente	Distancia al drenaje y/o nacimiento (m)	Referencia retiro (m)	Cumplimiento
T-1M	49,5	D4	16x16	Pantano, afluente izquierdo Quebrada La Rosala (Sin Nombre)	171	140. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-3M	69	E9	16x16	Pantano	80	47. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-5M	102	E16	24x24	Tributario izquierdo de la quebrada La Rosala (Sin Nombre)	52	19. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-6M	94,5	E14	22x22	Quebrada La Rosala	47	17,5. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-8M	89,71	E14	20x20	Tributario derecho de la quebrada La Rosala (Sin Nombre)	19	18 (Ronda hídrica, domina Hidráulico)	SI
T-9M	69	E9	16x16	Quebrada Sevilla (Afluente derecho Quebrada La Rosala)	38,5	5. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-10M	84	E12	20x20	Tributario derecho de la quebrada La Rosala (Sin Nombre)	94,5	61. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-12M	105	E16	25x25	Tributario derecho del Río Cauca (Sin Nombre)	30,5	0,5. Cumple (retiro 30 m)	SI
T-13M	88,5	E14	21x21	Río Cauca	99	0	NO
T-14M	72	AE11	12x12	Río Cauca	119	18,5. Cumple (retiro 100 m)	SI
T-15M	72	E10	17x17	Tributario izquierdo del	51,5	21. Cumple (retiro 30 m)	SI

Obra civil	Altura torre (m) (desde centro de torre hasta punto más alto)	Tipo torre	Apertura entre patas (mxm)	Fuente	Distancia al drenaje y/o nacimiento (m)	Referencia retiro (m)	Cumplimiento
				Río Cauca (Sin Nombre)			
T-17M	63	D7	20x20	Tributario izquierdo del Río Cauca (Sin Nombre)	119	88. Cumple (retiro 30 m)	SI
Descargas de aguas lluvias D1 y D2	-	-	-	Quebrada NN (afluente sin nombre 5)	0	0 (retiro de 30m)	NO

Fuente: SAG, 2024

De acuerdo con este análisis, se identifican posibles influencias sobre el río Cauca y el afluente sin nombre 5 (Quebrada NN), por la torre T-13M y las descargas de agua, respectivamente, por tanto, se realiza la solicitud y análisis de ocupación de cauce en el Capítulo 7, numeral 7.4.

#### 5.1.6.12 Identificación de la dinámica fluvial y análisis espacial y multitemporal de fuentes hídricas principales

Las corrientes hídricas superficiales son sistemas dinámicos que están en permanente evolución e interacción con los distintos factores bióticos y abióticos de la naturaleza. Es por esto, que toma relevancia analizar el comportamiento de los diversos cuerpos lóticos en su entorno, con el fin de entender los impactos positivos y negativos que podrían generar en un área de influencia específico.

A partir de imágenes satelitales, ortofotos, fotografías aéreas y otros datos derivados de sensores remotos es posible caracterizar los ríos, quebradas, caños y arroyos en términos de su patrón de alineamiento, estado de evolución de acuerdo con el ciclo geomórfico del paisaje fluvial y su estabilidad en el tiempo (Ver ANEXO\_5\_1\_10\_DINAMICA\_FLUVIAL).

Posterior al análisis de los cuerpos de agua mediante datos de sensores remotos, sigue realizar una caracterización cuantitativa y cualitativa de éstos y su ambiente fluvial teniendo en cuenta metodologías como la elaborada por Rosgen (1994)<sup>111</sup>.

##### 5.1.6.12.1 Tipos de valle






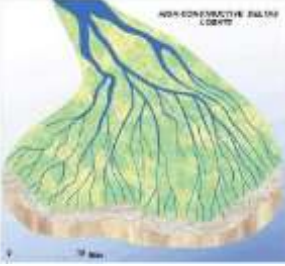
Conforme al ciclo geomórfico de Davis, se tiene que las características del valle tienen retroalimentaciones positivas y negativas con el grado de evolución de un río; por lo que en ríos jóvenes los valles son más estrechos y en ríos más maduros la amplitud o ancho del valle aumenta. Rosgen (1994) propuso una metodología de clasificación de éstos a partir

<sup>111</sup> ROSGEN, D. A classification of natural rivers. 1994.

de características físicas como la pendiente, tipo de material, amplitud del valle, entre otras (ver Tabla 5-84).

**Tabla 5-84. Tipos de valle fluviales.**

Tipo Valle	Descripción	Tipo Ríos	Esquema
I	Empinadas, confinados, cañones en forma de muescas-V, laderas laterales rejuvenecidas de más de 2% de pendiente, a menudo con alto aporte de sedimentos.	Aa+, A, G	
II	Moderadamente escarpado, con laderas de pendiente suave, con frecuencia en valles coluviales, pendiente de aproximadamente 4%.	B, G	
III	Abanicos aluviales y conos de deyección, pendiente mayor a 2%.	A, B, F, G, D	
IV	Cañones de suave pendiente, gargantas, valles aluviales y confinadas con sustrato de fondo controladas.	C, F	
V	Moderadamente empinadas, en forma de U valles glacial-parabólicos, pendiente menor 4%.	C, D, F, G	

Tipo Valle	Descripción	Tipo Ríos	Esquema
VI	Moderadamente empinada, fallas, unidos a una roca madre (estructura), debido a cambios en el material geológico, pendiente inferior al 4%, y el aporte de sedimentos por lo general es baja.	Aa+, A, B, C, F, G	
VII	Empinados, terreno de forma escarpada, fluviales disecados, de alta densidad de drenaje de laderas aluviales, con alto aporte de sedimentos.	Aa+, A, G	
VIII	Amplia ladera, valle de pendiente suave, con llanura de inundación bien desarrollada, adyacente al río y/o terrazas glaciales.	C, D, E, F, G	
IX	Amplio, pendientes moderadas a suaves, asociados con glaciales de transición y/o dunas de arena eólicas.	C, D, F	
X	Se encuentra en las llanuras aluviales costeras y llanuras aluviales, valle muy amplio y suave pendiente, asociadas con glaciares y no glaciares-depósitos lacustres, indicados por los pantanos y otros humedales.	C, DA, D, E, F, G	
XI	Se encuentra en deltas (desembocaduras) fluviales y zonas intermareales. Pendientes muy bajas, con sedimentos cohesivos y diques naturales. Áreas caracterizadas como alargada, lobulada, ondas y mareas dominantes.	C, D, DA, E	

Fuente. (Instituto Costarricense de Electricidad, 2015), adaptado de (Rosgen, 1994)<sup>112</sup>

Posterior a la clasificación del valle dónde se encuentran las corrientes de estudio, se procede a caracterizar las corrientes de agua superficial conforme a sus sedimentos, pendiente del lecho, grado de sinuosidad, etc.; tal como lo desarrolló Rosgen (1994) en su metodología de clasificación. Inicialmente deben calcularse los valores de ciertas variables:

<sup>112</sup> INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. Plan de manejo adaptativo de sedimentos y calidad de agua del sistema hidrobiológico Reventazón - Parismina - Tortuguero: Protocolo de Monitoreo. 2015.

- **Relación de encajonamiento**

Indica el grado de confinamiento de un río al interior del valle, se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$RE = \frac{API}{ABLL}$$

Donde, RE es la relación de encajonamiento, API es el ancho propenso de inundación que está relacionado a 2 veces la altura de banca llena del río y ABLL es el ancho asociado al caudal de banca llena.

**Tabla 5-85. Relación de encajonamiento.**

Relación de encajonamiento	Condición
0,0 – 1,4	Encajonado
1,4 – 2,2	Moderadamente encajonado
>2,2	Levemente encajonado

Fuente: SAG, 2023

- **Relación ancho-profundidad**

$$RAP = \frac{ABLL}{PMdBLL}$$

Donde, RAP es la relación entre el ancho y profundidad de la corriente, ABLL es el ancho del río cuando presenta el caudal de banca llena y PMdBLL es la profundidad media asociada al caudal de banca llena.

- **Sinuosidad**

Refleja el patrón de alineamiento de un río desde su vista en planta. Se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$Sn = \frac{LR}{LV}$$

Donde, Sn es el grado de sinuosidad, LR es la longitud del río y LV la longitud del valle.

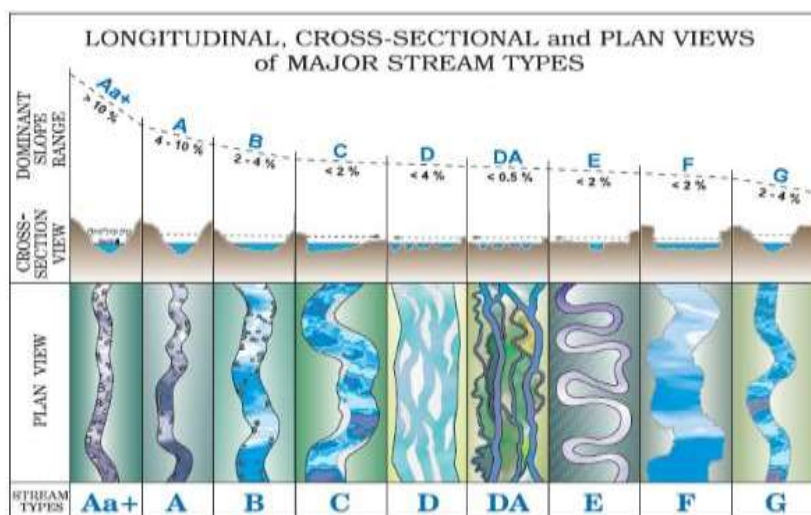
**Tabla 5-86. Grado de sinuosidad.**

Valor de sinuosidad	Grado de sinuosidad
1,0 – 1,05	Rectilíneo
1,05 – 1,5	Sinuoso

<b>Valor de sinuosidad</b>	<b>Grado de sinuosidad</b>
>1,5	Meandriforme

*Fuente: SAG, 2023*

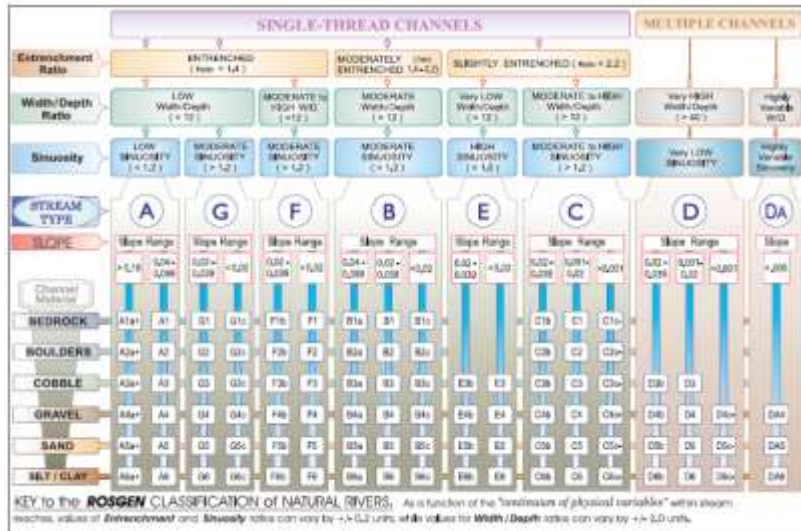
En la Figura 5-73 se puede observar cómo cambia la sección transversal y alineamiento de un río a partir de la influencia de su pendiente. Por ejemplo, cuando un río fluye por un valle amplio asociado a su vez a zonas de baja pendiente tiene la capacidad de divagar y de fluir libre a menos de que haya restricciones geológicas que lo imposibiliten.



**Figura 5-73. Clasificación de la corriente a partir de su pendiente longitudinal, sección transversal y vista en planta.**

*Fuente: Rosgen, 1994*

Conocer a profundidad el tipo de flujo, el paisaje que lo rodea, el tipo de material que transporta y la pendiente del lecho de los ríos permite realizar inferencias acerca de su comportamiento o dinámica en un espacio y tiempo dado, de acuerdo con la Figura 5-74.



**Figura 5-74. Clasificación de ríos.**

Fuente: Rosgen, 1994

Para el análisis espacial y multitemporal de la dinámica fluvial se seleccionaron las corrientes de aguas superficiales de mayor orden como el río Cauca y la Quebrada La Ardita, y un drenaje menor en donde se proyectan dos ocupaciones de cauce (Afluente sin nombre 5 o Quebrada NN). A continuación, en la Tabla 5-87 se presentan los sistemas lóticos analizados en el presente estudio.

**Tabla 5-87. Corrientes superficiales objeto de estudio.**

Nombre	Longitud (km)
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,66
Río Cauca	3,60
Quebrada La Ardita	0,79

Fuente: SAG, 2023

Se resalta además que, la delimitación de los cauces de las corrientes se realizó a partir de un análisis multitemporal empleando imágenes satelitales de Google Earth. En la Tabla 5-88 se presentan las corrientes analizadas y la información satelital disponible.

**Tabla 5-88. Información satelital disponible para las corrientes analizadas.**

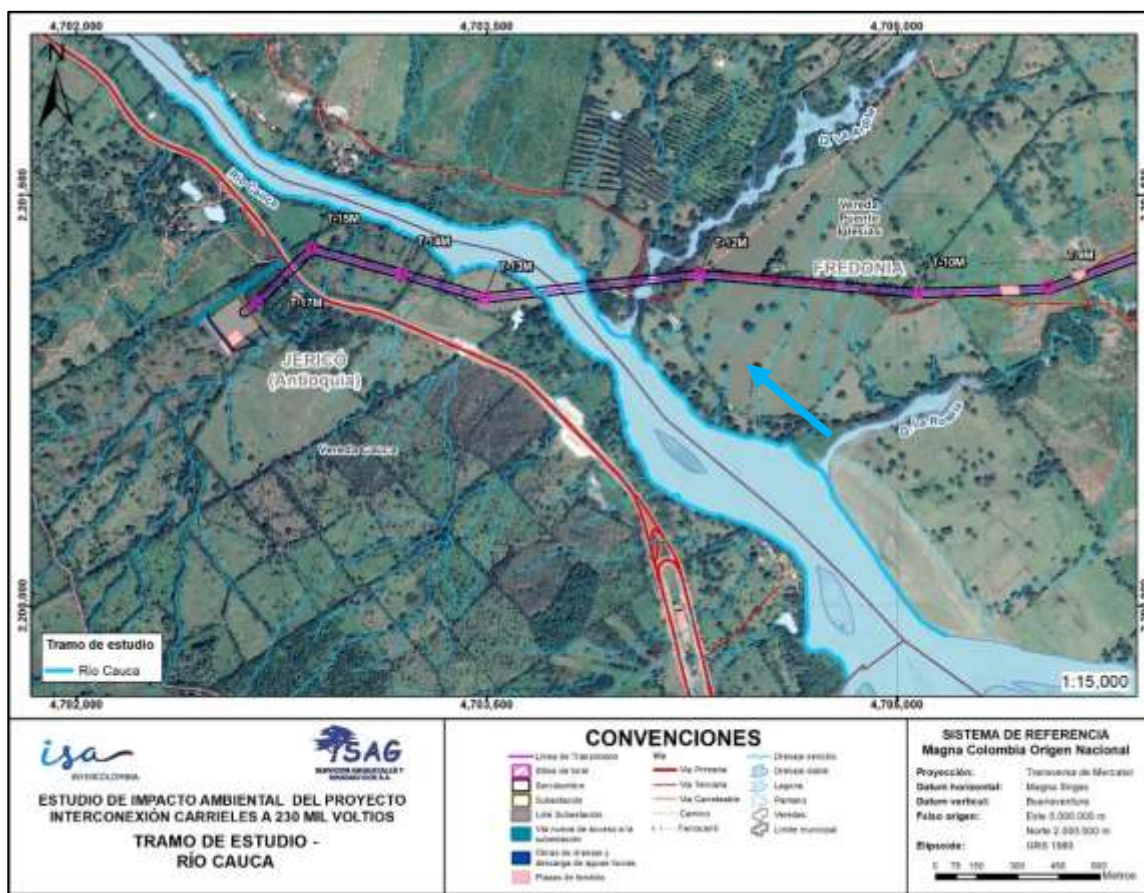
Drenajes	Años
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	2007/10, 2014/08, 2018/07, 2022/10
Río Cauca	2007/10, 2014/08, 2018/07, 2022/10
Quebrada La Ardita	2007/10, 2014/08, 2018/07, 2022/10

Fuente: SAG, 2023

A continuación, se presentan los resultados del análisis espacial y multitemporal en las corrientes estudiadas.

### 5.1.6.12.2 Río Cauca

El tramo de estudio comprende una longitud de 3,60 km y se ubica entre el Centro de control Autopista Pacífico 2 y una Bodega localizada en la margen izquierda del Río Cauca, Aguas debajo del Peaje La Pintada, tal y como se muestra en la [Figura 5-75](#).



**Figura 5-75. Tramo de estudio del cauce del Río Cauca.**

Fuente: SAG, 2023

Para este tramo se calculó tanto la sinuosidad ( $S_n$ ) como la pendiente del cauce ( $P_R$ ) y del valle ( $P_V$ ), los resultados se muestran a continuación en la Tabla 5-89: De acuerdo con los resultados, el tramo analizado se caracteriza por ser sinuoso y de bajas pendientes.



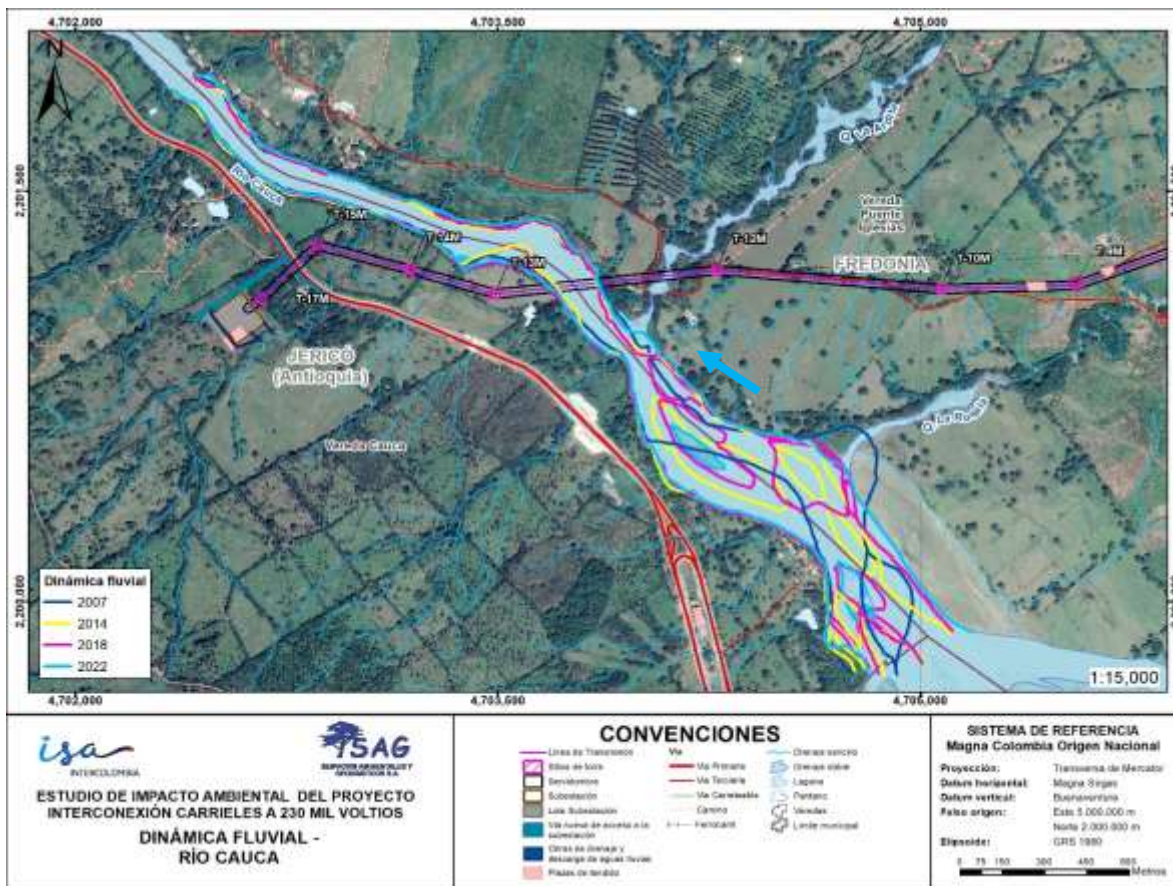
**Tabla 5-89. Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente del río Cauca.**

LR (km)	LV km	Sinuosidad	Elevación 1	Elevación 2	Pendiente valle	Pendiente río
3,60	3,51	1,03	568	562	0,17%	0,17%

Fuente: SAG, 2024

• **Variación afluente sin nombre 5 dinámica fluvial del río Cauca**

Para analizar las variaciones que ha tenido el cauce del río Cauca en el tramo de estudio, se digitalizó la corriente en los años 2007, 2014, 2018 y 2022 (ver Figura 5-76). En general, se evidencia divagación lateral del río, con formaciones de meandros e islas en su interior, que a su vez podría clasificarse como de tipo D según Rosgen (1994).

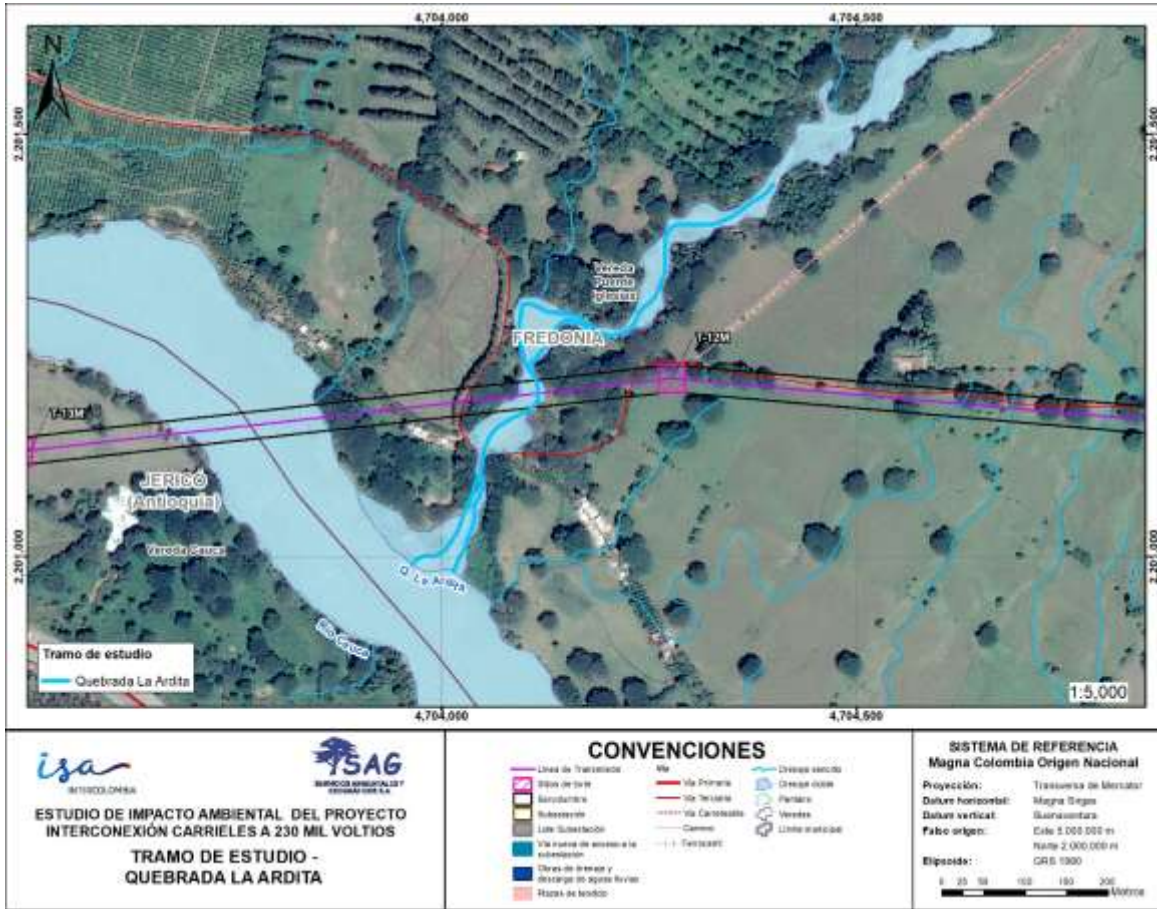


**Figura 5-76. Dinámica fluvial del cauce del Río Cauca para el tramo de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

5.1.6.12.3 Quebrada La Ardita

El tramo de estudio comprende una longitud de 0,79 km y se ubica en cercanías a la torre T-12M y su desembocadura en el Río Cauca (ver Figura 5-77).



**Figura 5-77. Tramo de estudio del cauce de la quebrada La Ardita.**

Fuente: SAG, 2023

Para este tramo se calculó tanto la sinuosidad ( $S_n$ ) como la pendiente del cauce ( $P_R$ ) y del valle ( $P_V$ ), los resultados se muestran a continuación en la Tabla 5-90: De acuerdo con los resultados, el tramo analizado se caracteriza por ser sinuoso y de bajas pendientes.

Así mismo, se evidenció la presencia de estructuras sedimentarias aluviales y coluviales con superficies planas e inclinación suave, que, de acuerdo con UNAL & Corantioquia (2006)<sup>113</sup> se encuentran asociadas directamente con el área de interacción con el sistema aluvial del Río Cauca.

<sup>113</sup> Universidad Nacional de Colombia & Corantioquia. (2006). Convenio Interadministrativo 6486 de 2005 entre la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-Corantioquia- y la Universidad Nacional de Colombia. Proyectos educativos y técnicos ambientales comunitarios en 16 microcuencas ubicadas en las oficinas territoriales de Corantioquia. Microcuenca La Ardita, Municipio de Fredonia. Medellín. Recuperado de: [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR\\_CN\\_6486\\_2005\\_MCLARDITA.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_CN_6486_2005_MCLARDITA.pdf)

**Tabla 5-90. Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente de la quebrada La Ardita.**

LR (km)	LV km	Sinuosidad	Elevación 1	Elevación 2	Pendiente valle	Pendiente río
0,79	0,64	1,23	579	563	2,50%	2,04%

Fuente: SAG, 2024



• Quebrada La Ardita, a la altura del puente



• Desembocadura de la quebrada La Ardita al Río Cauca



• Proceso de erosión fluvial en margen izquierda, aguas arriba del puente



• Ladera y acumulación de sedimentos en margen derecha, aguas arriba del puente

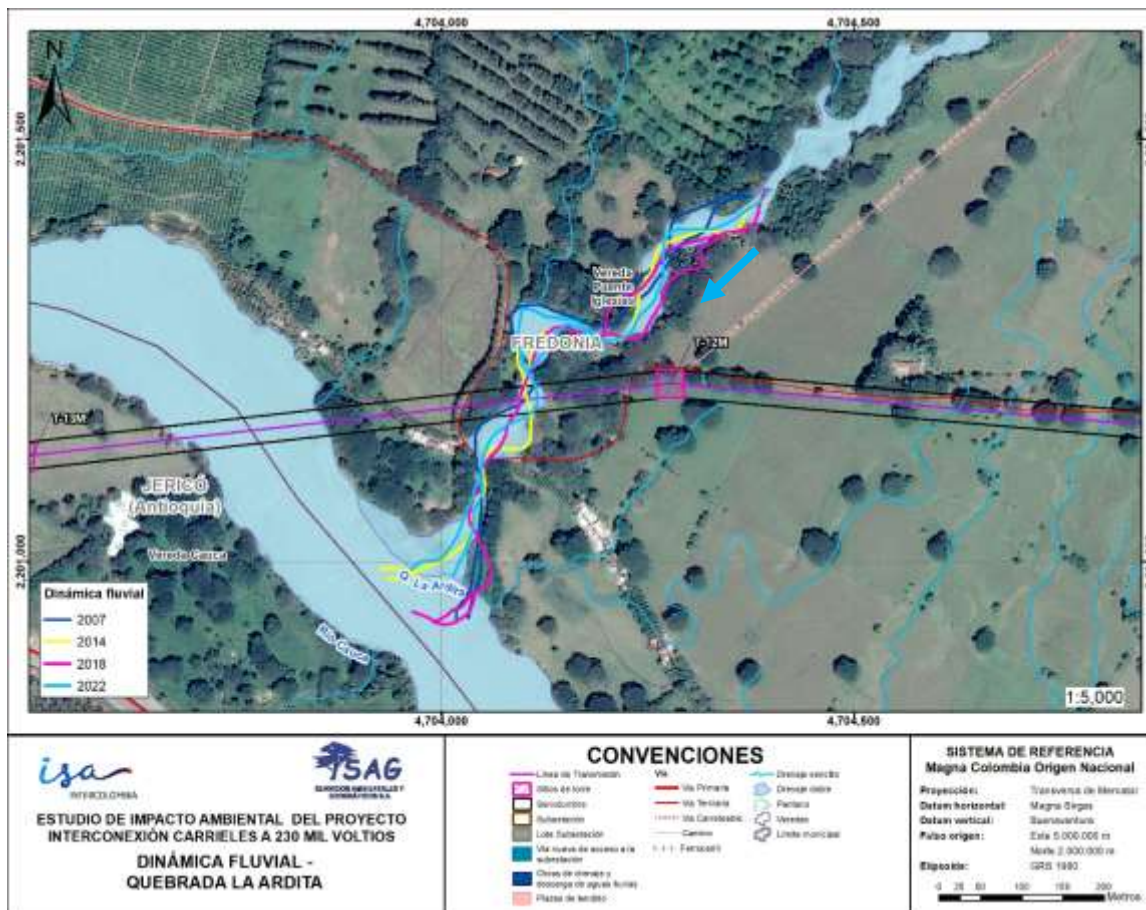
**Fotografía 5-1. Quebrada La Ardita en el tramo de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

• **Variación multitemporal de la dinámica fluvial de la quebrada La Ardita**

Para analizar las variaciones que ha tenido el cauce de la quebrada La Ardita en el tramo de estudio, se digitalizó la corriente en los años 2007, 2014, 2018 y 2022 (ver [Figura 5-78](#)).

En general, se evidencia divagación lateral de la quebrada, con formaciones de canales separados por bancos y pequeñas islas, que a su vez podría clasificarse como de tipo DA según Rosgen (1994).

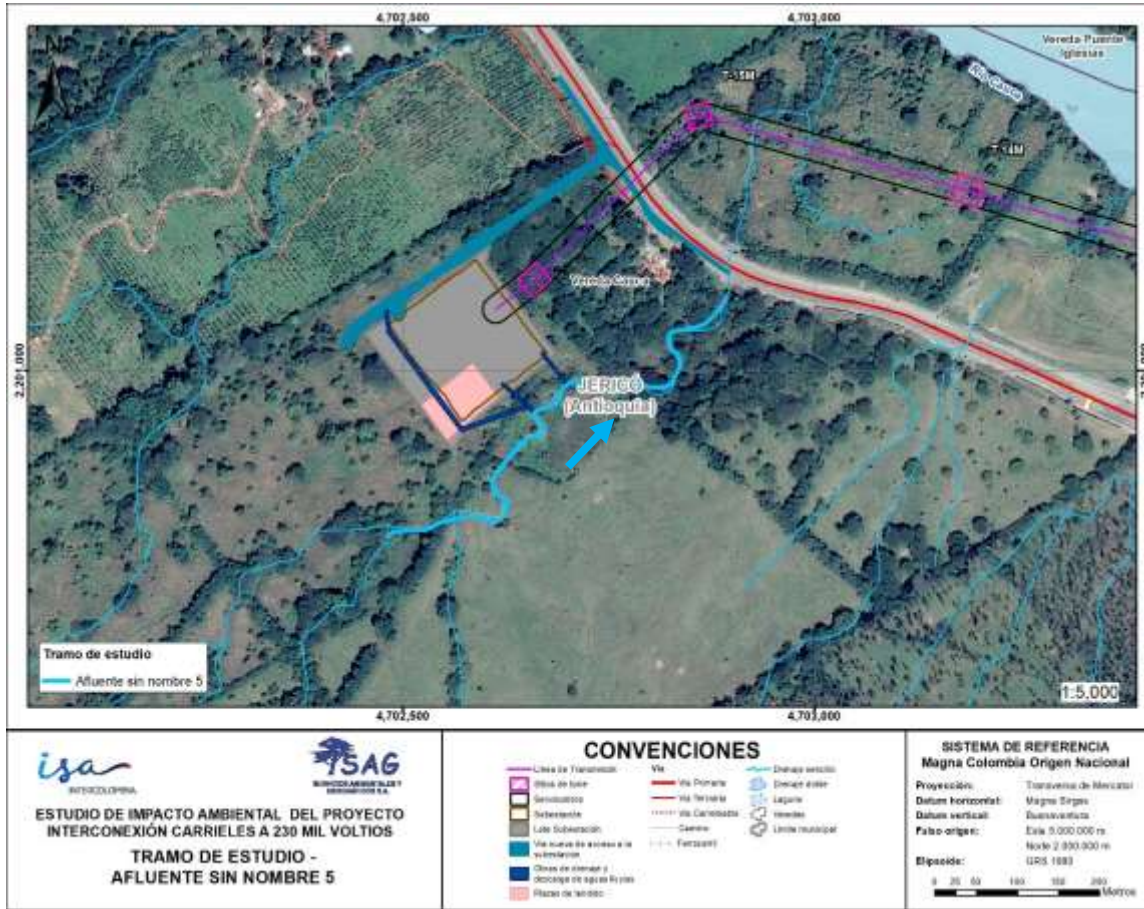


**Figura 5-78. Dinámica fluvial del cauce de la quebrada La Ardita para el tramo de estudio.**

Fuente: SAG, 2023

#### 5.1.6.12.4 Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)

El tramo de estudio comprende una longitud de 0,66 km y se ubica a la altura de la Subestación eléctrica Carrieles. Esta corriente recibirá las aguas de escorrentía provenientes de la subestación, tal y como se muestra en la [Figura 5-79](#).



**Figura 5-79. Tramo de estudio del cauce del Afluyente sin nombre 5 (Quebrada NN).**

Fuente: SAG S.A, 2023

Para este tramo se calculó tanto la sinuosidad ( $S_n$ ) como la pendiente del cauce ( $P_R$ ) y del valle ( $P_V$ ), los resultados se muestran a continuación en la Tabla 5-91: De acuerdo con los resultados, el tramo analizado se caracteriza por ser sinuoso y de bajas pendientes.

**Tabla 5-91. Sinuosidad, pendiente de valle y pendiente del Afluyente sin nombre 5 (Quebrada NN).**

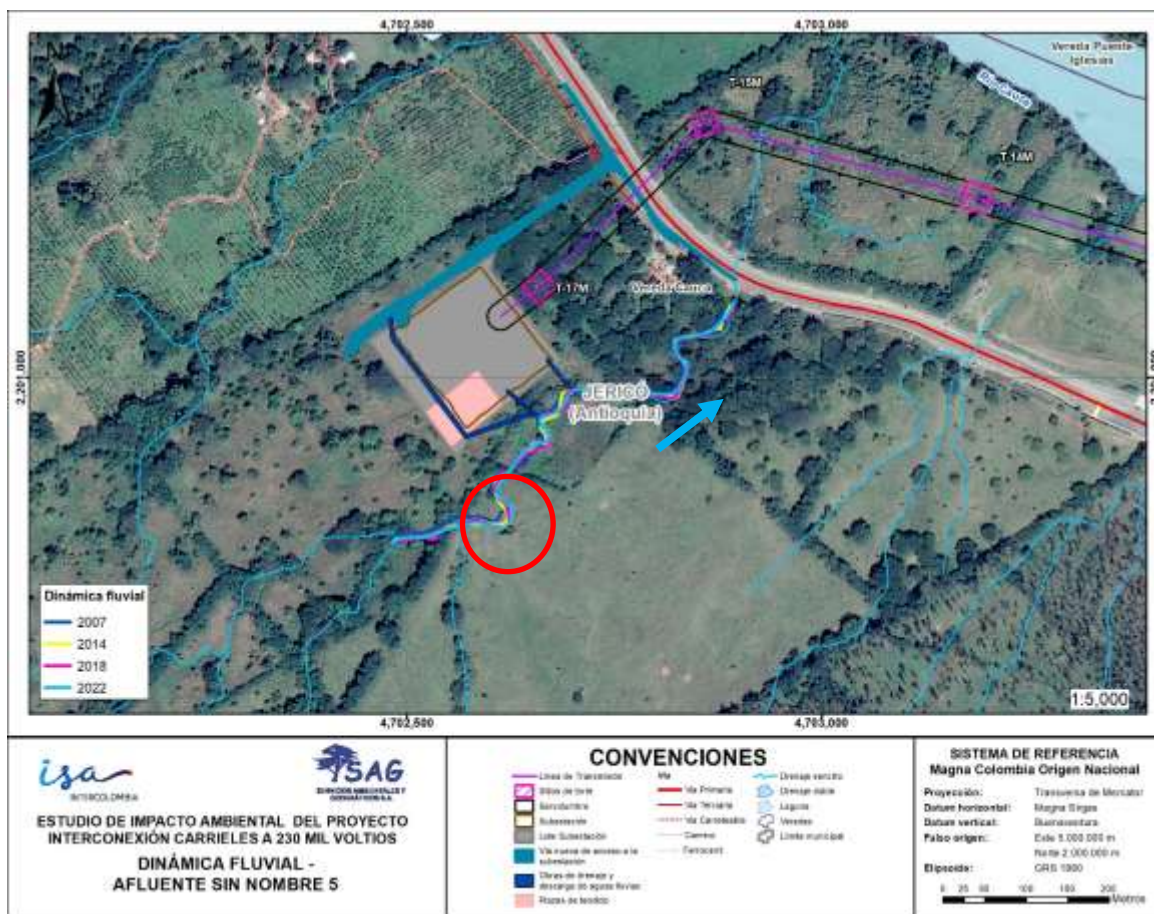
LR (km)	LV km	Sinuosidad	Elevación 1	Elevación 2	Pendiente valle	Pendiente río
0,66	0,5	1,32	600	586	2,80%	2,12%

Fuente: SAG, 2024

- **Variación multitemporal de la dinámica fluvial del Afluyente sin nombre 5 (Quebrada NN)**

Para analizar las variaciones que ha tenido el cauce del Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN) en el tramo de estudio, se digitalizó la corriente en los años 2007, 2014, 2018 y 2022 (ver [Figura 5-80](#)). En general, se evidencia poca variación del cauce, no obstante, para el año 2022 se identificó un proceso de erosión que pudo ocasionar cambios en la sección e inestabilidad de la banca.

Por otro lado, este afluente podría clasificarse como de tipo B según Rosgen (1994).



**Figura 5-80. Dinámica fluvial del cauce del Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN) para el tramo de estudio.**

Fuente: SAG, 2023

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

### 5.1.6.13 Indicadores del estado del recurso hídrico

#### 5.1.6.13.1 Índice de regulación hídrica-IRH

El Índice de regulación hídrica (IRH) evalúa la capacidad de la cuenca para mantener y regular un régimen de caudales, la cual está limitada por la interacción del sistema suelo-vegetación (características físicas y morfométricas de la cuenca). Su definición se hace con respecto a la curva de duración de caudales medios diarios (CDC), que representa una relación del porcentaje de tiempo el cual los caudales igualan o exceden un valor dado<sup>114</sup>. La forma y pendiente de la CDC indica los tiempos de duración de un caudal en un cauce y la relación de áreas bajo la curva define su regulación acorde con la siguiente ecuación y su representación en la Figura 5-81.

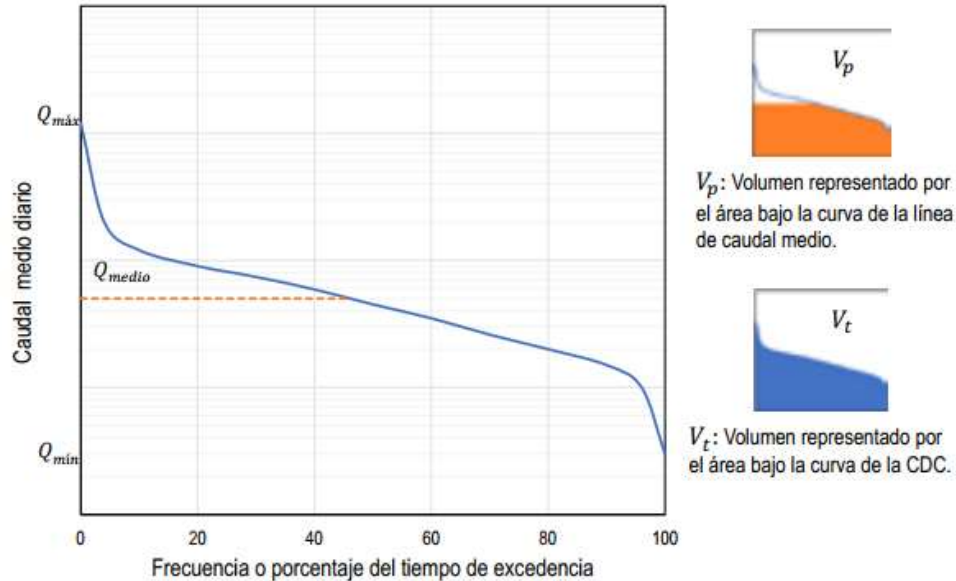
$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde:

- *IRH*: índice de regulación hídrica
- $V_p$ : volumen representado por el área que se encuentra bajo la línea de caudal medio en la CDC.
- $V_t$ : volumen total equivalente al área bajo la CDC

---

<sup>114</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.



**Figura 5-81. Esquematización de la curva de duración de caudales y los volúmenes para el cálculo del IRH.**

Fuente: IDEAM, 2023

Posteriormente, se clasifican cualitativamente los valores de IRH obtenidos, de acuerdo con las categorías que se muestran en la Tabla 5-92.

**Tabla 5-92. Categorías del IRH.**

IRH	Categoría
$IRH > 0,85$	Muy alta
$0,75 < IRH \leq 0,85$	Alta
$0,65 < IRH \leq 0,75$	Moderada
$0,50 < IRH \leq 0,65$	Baja
$IRH \leq 0,50$	Muy alta

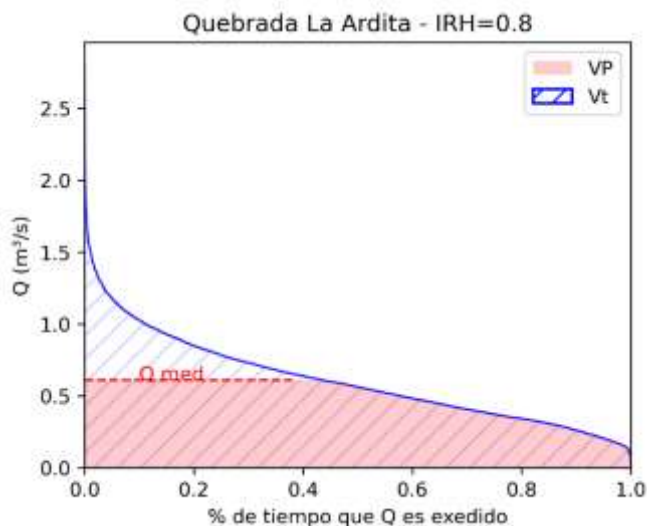
Fuente: IDEAM, 2023

Es importante mencionar que este índice evalúa la capacidad de regulación de una cuenca y se calcula de forma puntual en las estaciones hidrológicas, sin embargo, para propósitos del Estudio Nacional del Agua-ENA 2022, su representación es a nivel de subzona para lo cual fue necesario delimitar 16 regiones homogéneas de Colombia teniendo en cuenta que son áreas que comparten características climatológicas, fisiográficas o hidrológicas similares. Sobre estas regiones se aplicó la metodología descrita por Krasovskaia et al. (2016), en la que, a partir de las series históricas de caudal en la región homogénea, se



hace un promedio de todas las CDC estándar adimensionales de las estaciones disponibles, para obtener una única curva por región, la cual es asignada a las subzonas que no tienen una estación de referencia<sup>115</sup>.

A manera de ejemplo, en la Figura 5-82 se presenta la curva de duración de caudales de la quebrada La Ardita, con la cual se obtuvieron los volúmenes para calcular el IRH.



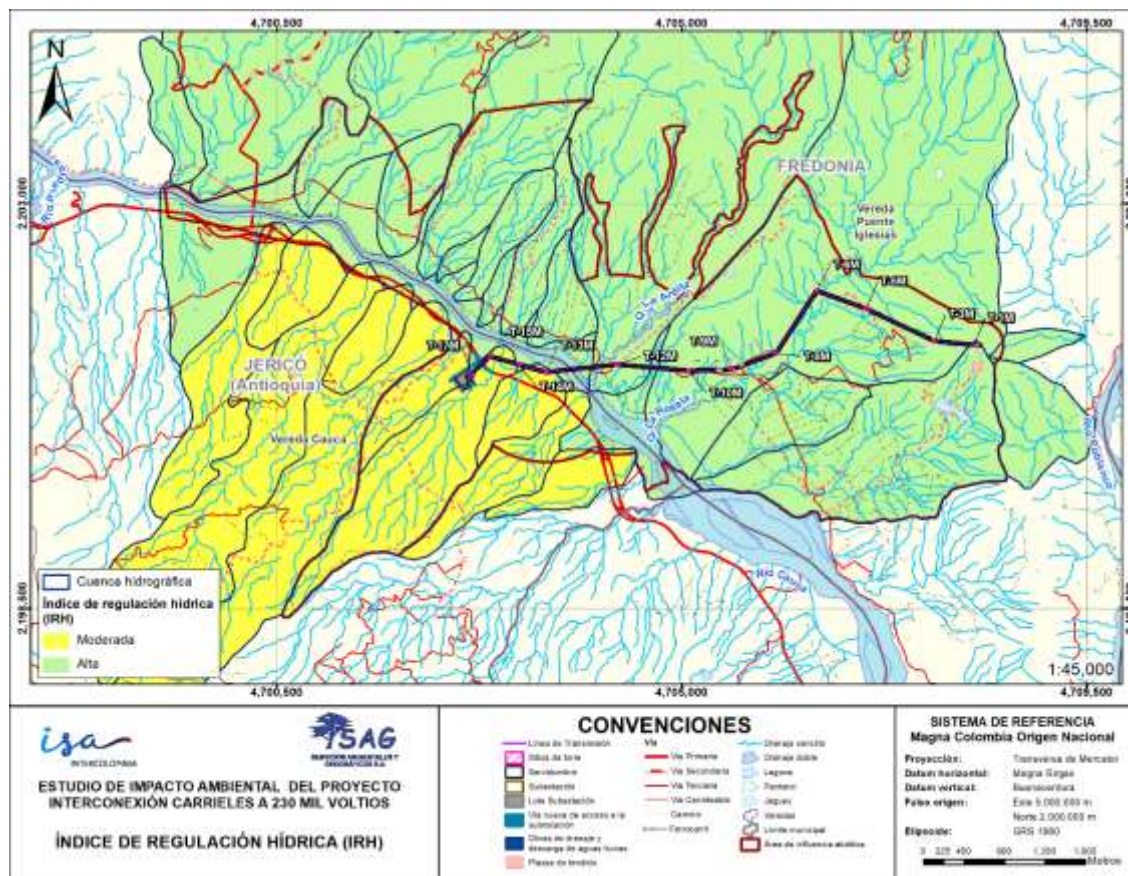
**Figura 5-82. IRH para la cuenca de la quebrada La Ardita.**

*Fuente: SAG, 2024*

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua-ENA 2022<sup>116</sup>, el IRH para la subzona hidrográfica del Río Cartama y otros Directos al Río Cauca es de 0,7 mientras que para los Directos al río Cauca entre río San Juan y Pto Valdivia, md el IRH=0,8 (ver [Figura 5-83](#)).

<sup>115</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. Ideam. 464pp.

<sup>116</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. Ideam. 464pp.



**Figura 5-83. Índice de regulación hídrica en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

Siguiendo la metodología descrita previamente, la clasificación para las cuencas objeto de estudio corresponde a Moderada para aquellas que pertenecen a la subzona hidrográfica Río Cartama y otros Directos al Río Cauca, y Alta para aquellas que se encuentran en la subzona hidrográfica Directos al río Cauca entre río San Juan y Pto Valdivia (md), tal y como se muestra en la Tabla 5-93.

**Tabla 5-93. Valor y categoría del IRH para las cuencas objeto de estudio.**

Cuenca	IRH Valor	Categoría IRH
Afluente sin nombre 1	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 2	0,7	Moderada
Quebrada Dos Quebradas	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 3	0,7	Moderada

Cuenca	IRH Valor	Categoría IRH
Quebrada Las Palmeras	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 4	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 6	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 7	0,7	Moderada
Afluente sin nombre 8	0,7	Moderada
Quebrada El Campamento	0,8	Alta
Afluente sin nombre 9	0,8	Alta
Quebrada La Rosala	0,8	Alta
Quebrada La Ardita	0,8	Alta
Afluente sin nombre 10	0,8	Alta
Afluente sin nombre 11	0,8	Alta
Afluente sin nombre 12	0,8	Alta
Afluente sin nombre 13	0,8	Alta
Afluente sin nombre 14	0,8	Alta
Quebrada La Sapo	0,8	Alta
Afluente sin nombre 15	0,8	Alta
Quebrada Tuntuna	0,8	Alta
Quebrada La Torre	0,8	Alta
Afluente sin nombre 16	0,8	Alta
Afluente sin nombre 17	0,8	Alta
Afluente sin nombre 18	0,8	Alta
Directos al río Cauca	0,8	Alta

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.6.13.2 Índice de Aridez-IA

La aridez es un fenómeno climático que describe la escasez de agua sobre un territorio, entendiendo el suministro como la precipitación promedio (P), la evapotranspiración potencial (ETP) como el agua requerida por el ecosistema y la evapotranspiración real (ETR) como el resultado del balance que efectivamente tiene la región. De esta manera, el índice de aridez (IA) es un indicador simple pero efectivo que caracteriza los déficits hídricos naturales de largo plazo, el cual es entendido como lo indica la siguiente expresión<sup>117</sup>:

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

Donde:

- IA: índice de aridez
- ETP: evapotranspiración potencial (mm/ año)

<sup>117</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. IDEAM. 464 pp.

- ETR: evapotranspiración real (mm/año)

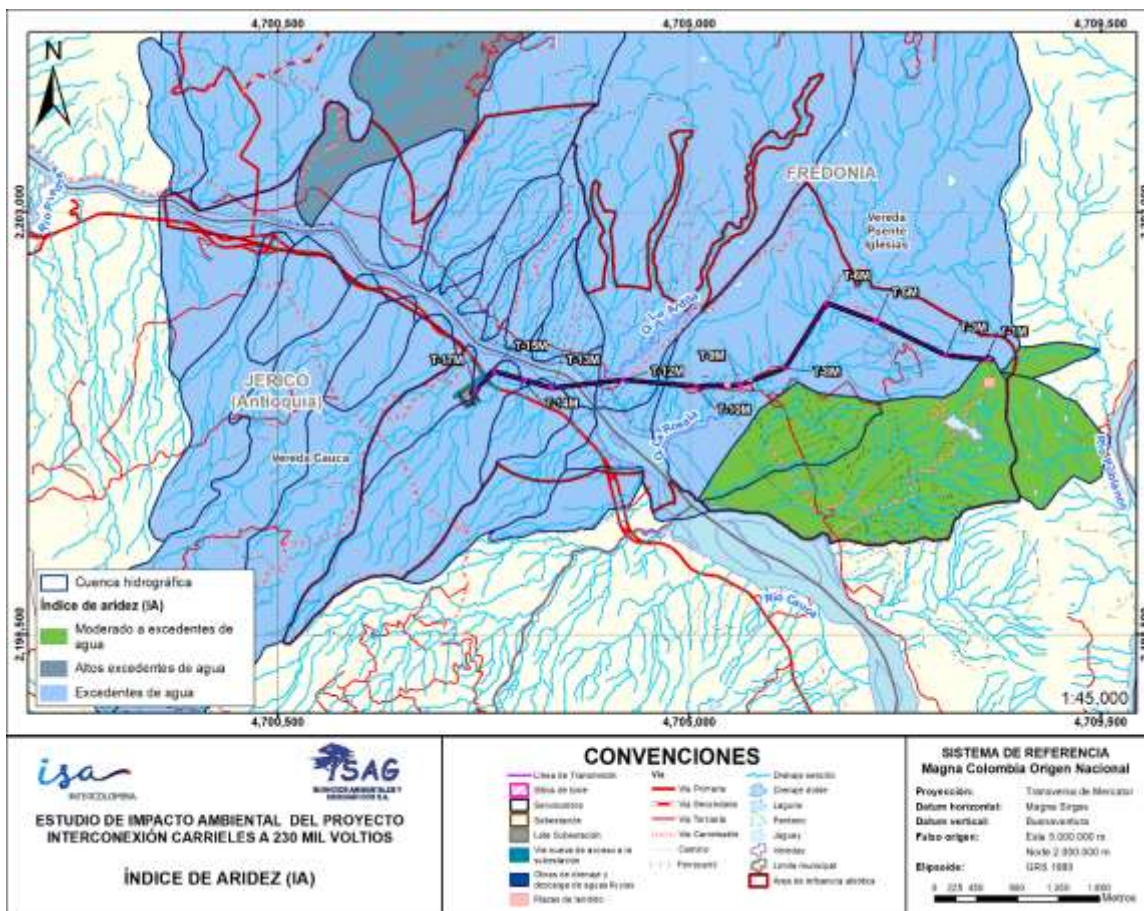
Esta relación clasifica el clima regional de acuerdo con la disponibilidad de agua para el sostenimiento de los ecosistemas; es evaluada de forma cualitativa, y clasifica las regiones en siete categorías, desde altamente deficitario hasta altos excedentes de agua como se muestra en la Tabla 5-94.

**Tabla 5-94. Categorías del índice de aridez.**

IA	Categoría
< 0,15	Altos excedentes
0,15 – 0,19	Excedentes
0,20 – 0,29	Moderado a excedentes
0,30 – 0,39	Moderado
0,40 – 0,49	Moderado a deficitario
0,50 – 0,59	Deficitario
>0,60	Altamente deficitario

*Fuente: IDEAM, 2018*

A partir de la distribución espacial de la ETP obtenida del desarrollo de la ecuación de Cenicafé, y el mapa de distribución espacial de la ETR obtenido mediante la ecuación de Budyko, se realizó álgebra de mapas en ArcGIS 10.8, aplicando la ecuación del índice de aridez. Los resultados se presentan en la [Figura 5-84](#). Aplicando estadística zonal, se obtuvo el índice medio para cada cuenca.



**Figura 5-84. Índice de aridez en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

El valor del índice de aridez obtenido para cada cuenca se muestra en la Tabla 5-95, y como se puede observar, todas las fuentes evaluadas cuentan con excedentes de agua, lo que indica que la región cuenta con condiciones climáticas regionales que permiten el sostenimiento de los ecosistemas.

**Tabla 5-95. Índice de aridez (AI) en el área de influencia abiótica.**

Cuenca	IA	Categoría
Afluente sin nombre 1	0,15	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 2	0,16	Excedentes de agua
Quebrada Dos Quebradas	0,15	Excedentes de agua

Cuenca	IA	Categoría
Afluente sin nombre 3	0,17	Excedentes de agua
Quebrada Las Palmeras	0,15	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 4	0,17	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	0,17	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 6	0,19	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 7	0,18	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 8	0,19	Excedentes de agua
Quebrada El Campamento	0,22	Moderado a excedentes de agua
Afluente sin nombre 9	0,22	Moderado a excedentes de agua
Quebrada La Rosala	0,19	Excedentes de agua
Quebrada La Ardita	0,16	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 10	0,19	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 11	0,18	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 12	0,18	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 13	0,18	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 14	0,18	Excedentes de agua
Quebrada La Sapo	0,16	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 15	0,17	Excedentes de agua
Quebrada Tuntuna	0,14	Altos excedentes de agua
Quebrada La Torre	0,15	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 16	0,15	Excedentes de agua
Afluente sin nombre 17	0,21	Moderado a excedentes de agua
Afluente sin nombre 18	0,21	Moderado a excedentes de agua
Directos al río Cauca	0,17	Excedentes de agua

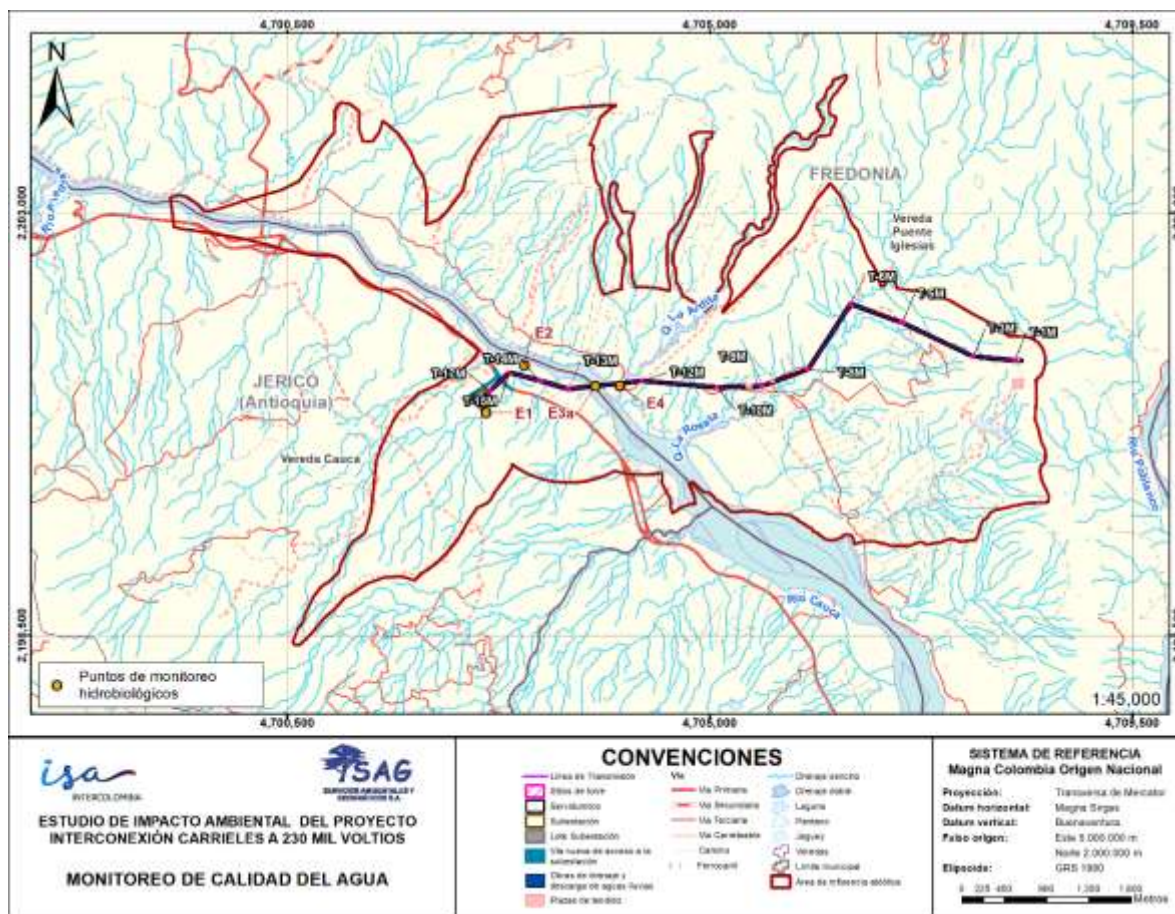
Fuente: SAG, 2024

### 5.1.7 Calidad del Agua

Para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las corrientes hídricas del área de influencia abiótica, se tuvieron en cuenta aquellas que fueran susceptibles de intervención por el proyecto debido a ocupaciones de cauce (Afluente sin nombre 5 o Quebrada NN) y aquellas fuentes de interés en las cuales se pueden manifestar potencialmente los impactos asociados a las actividades del proyecto (Río Cauca y Quebrada La Ardita). En este sentido, se contemplaron cuatro (4) estaciones lóxicas las cuales fueron monitoreadas en diferentes condiciones hidroclimáticas, es decir, en época de temporadas secas y húmedas. Esta condición, incrementó el caudal del río, aumentó la masa de agua y la profundidad, además de generar la erosión e inestabilidad de las orillas,

razones por la cuales no se contó con las condiciones de seguridad para la toma de muestras en las campañas 1 y 2 (mayo y julio de 2022). Durante la campaña 3 si fue efectivo el monitoreo de este río y, por tanto, se presentan los resultados en la presente caracterización.

En la Figura 5-85 y la Tabla 5-96, se presenta la localización sobre los cuerpos de agua presentes en el área de influencia abiótica, en los cuales potencialmente se pueden manifestar los impactos asociados a las actividades del proyecto y a continuación, se describen las características generales de los mismos.



**Figura 5-85. Localización puntos de monitoreo de calidad de agua, Área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 5-96. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica.**

ID Punto	Nombre de la fuente	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
		Este	Norte	Este	Norte
E1	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	75° 41' 10,891"	5° 48' 41,610"	4702613,27	2200872,684
E2	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	75° 40' 57,812"	5° 48' 58,134"	4703018,163	2201378,50
E3a	Río Cauca	75° 40' 33,131"	5° 48' 51,008"	4703776,615	2201155,941
E4	Quebrada La Ardita	75° 40' 24,612"	5° 48' 51,101"	4704038,79	2201157,562

Fuente: SAG, 2023

A continuación, se presenta una descripción de las estaciones de monitoreo de calidad de agua localizadas en el área de influencia abiótica.

<b>E1- Quebrada NN (Afluente sin nombre 5) aguas arriba</b>	
Estación localizada en el sector aguas arriba a la Subestación Carrieles a 230 mil voltios. Agua con coloración marrón y turbia, sin olores o presencia de iridiscencia.	
 <p><b>Mayo- 2022</b></p>	 <p><b>Julio-2022</b></p>
<b>E2- Quebrada NN (Afluente sin nombre 5) aguas abajo</b>	
Sitio de muestreo localizado antes de la desembocadura al río Cauca. El agua se presentó de color marrón con un nivel de turbidez leve, sin presencia de olores ni iridiscencia.	
	



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

<b>E1- Quebrada NN (Afluente sin nombre 5) aguas arriba</b>	
<b>Mayo- 2022</b>	<b>Julio-2022</b>
<b>E3a Río Cauca</b>	
<p>El sitio de muestreo presentó coloración de agua marrón y turbia, sin presencia de olores, grasas, aceites o similares.</p>	
	
<b>Febrero 2023</b>	
<b>E4 Quebrada La Ardita<sup>118</sup></b>	
<p>Este sitio de monitoreo se caracteriza por tener lugares con zonas de remanso y sectores con rápidos y rizos. El agua no presentó coloración, aceites, grasas ni olor; se registra una turbidez baja.</p>	
	
<b>Febrero 2023</b>	

*Fuente: SAG, 2024*

Para analizar el grado de afectación y las características de las fuentes de agua superficial asociada al área de influencia abiótica, se efectuó una caracterización fisicoquímica y microbiológica de las mismas. Las actividades se distribuyeron en tres campañas: la primera se llevó a cabo en el mes de mayo de 2022 durante la temporada de lluvias; la segunda en julio de 2022 en temporada seca y la última se realizó en el mes de febrero de 2023, también en temporada seca; estas fueron desarrollados por Servicios Ambientales y

<sup>118</sup> En los registros de campo y de laboratorio esta quebrada aparece como N.N. Posteriormente, el nombre Ardita fue validado con información de cartografía base e información de la Corporación.

Geográficos S.A y ANALTEC Laboratorios S.A.S (acreditado por el IDEAM bajo la Norma ISO 17025 según la Resolución N°0145 del 24 de enero de 2018).

### 5.1.7.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico de las corrientes de interés

A continuación, se relacionan los resultados de calidad de agua obtenidos durante las tres campañas (Ver ANEXO\_5\_1\_11\_CALIDAD\_AGUA).

**Tabla 5-97. Resultados de la caracterización física, química y microbiológica.**

Parámetros	Unidades	Campaña 1	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 2
		May-22	May-22	Jul-22	Jul-22
		E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo	E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo
Temperatura	°C	25,5	25,8	29,7	26,7
Temperatura ambiente	°C	30	29	31	25
pH	U de pH	7,52	8,15	8,62	7,84
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	7,63	7,46	8,13	7,42
Saturación	%	90,17	99	-	-
Conductividad eléctrica	µS/cm	232	260	519	556
Coliformes Termotolerantes	NMP/10 0 mL	17700	17100	261,3	1092
Coliformes totales	NMP/10 0 mL	770100	816400	24,89	46110
<i>Escherichia coli</i>	NMP/10 0 mL	15800	7500	110	697
Níquel total	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Surfactantes Aniónicos Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	<0,090	<0,090	<0,090	<0,090
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	<6,88	<6,88	<6,88	<6,88
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1,98	<1,98	<1,98	<1,98
Cianuro total	mg/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Zinc total	mg/L	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Cloruros	mg/L	<5	<5	<5	<5
Sulfatos	mg/L	7,96	9,68	16,5	18,5
Plomo total	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Hidrocarburos totales	mg/L	<10	<10	<10	<10
Cromo total	mg/L	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Arsénico total	mg/L	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020

Parámetros	Unidades	Campaña 1	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 2
		May-22	May-22	Jul-22	Jul-22
		E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo	E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo
Bario total	mg/L	0,066	0,084	0,083	0,103
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio total	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cobre total	mg/L	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Fósforo reactivo total	mg P- PO43- /L	0,077	0,074	0,172	0,174
Dureza total	mg CaCO3/ L	92,3	107	172	186
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N /L	<2	<2	<2	<2
Fenólicos	mg/L	<0,080	<0,080	<0,08	<0,08
Fósforo total	mg P/L	0,127	0,116	0,071	0,063
DQO	mg/L	<25	<25	<25	<25
Nitrógeno orgánico	mg N org /L	<1	<1	<1	<1
Nitrógeno total	mg N /L	0,004	No determinad o	No determinad o	No determinad o
Nitrógeno amoniacal	mg NH3- N/L	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad, pH final titulación	U, de pH	4,48	4,55	4,51	4,5
Acidez total	mg CaCO3/ L	<10	<10	<10	<10
Alcalinidad total	mg CaCO3/ L	109	125	199	203
Calcio total	mg/L	25,2	27,8	42	42,5
Color real absorbancia a 436 nm	m-1	3	2,45	0,9	0,92
Color real absorbancia a 525 nm	m-1	1,06	0,8	0,24	0,3
Color real absorbancia a 620 nm	m-1	0,4	0,27	<0,100	0,12
Color real, pH muestra	U, de pH	7,97	8	8,5	8,37
Grasas y aceites	mg/L	<10	<10	<10	<10

 <b>SAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Parámetros	Unidades	Campaña 1	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 2
		May-22	May-22	Jul-22	Jul-22
		E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo	E1 - Q NN A. Arriba	E2 - Q NN A. Abajo
Hierro total	mg/L	1,73	1,61	<0,20	0,242
Magnesio total	mg/L	8,61	9,77	15,5	16,1
Nitratos	mg N- NO3/L	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40
Nitritos	mg NO2- N/L	0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Potasio total	mg/L	2,61	2,96	2,79	2,91
Sodio total	mg/L	16,9	16	23,8	24,7
Sólidos disueltos totales	mg/L	186	201	260	275
Sólidos suspendidos totales	mg/L	15,4	14,9	<5	8,25
Sólidos totales	mg/L	197	216	261	275
Turbiedad	NTU	34	36	4,3	7,1

Fuente: SAG S.A, 2023

**Tabla 5-98. Continuación Resultados de la caracterización física, química y microbiológica.**

Parámetros	Unidades	Campaña 3	Campaña 3
		Feb-23	Feb-23
		E3a- Río Cauca	E4 Qda La Ardita
Temperatura	°C	25	23
Temperatura ambiente	°C	30,8	24
pH	U de pH	7,69	8,39
Oxígeno Disuelto	mg O2/L	7,47	8,27
Saturación	%	88,1	102,9
Conductividad eléctrica	µS/cm	144,3	449
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	860	1220
Coliformes totales	NMP/100 mL	1220	2560
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	410	750
Níquel total	mg/L	0,018	<0,010

Parámetros	Unidades	Campaña 3	Campaña 3
		Feb-23 E3a- Río Cauca	Feb-23 E4 Qda La Ardita
Surfactantes Aniónicos Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	<0,090	<0,090
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	24,36	<6,88
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5,16	<1,98
Cianuro total	mg/L	<0,050	<0,050
Zinc total	mg/L	0,046	<0,030
Cloruros	mg/L	6,12	<5
Sulfatos	mg/L	15,7	54,5
Plomo total	mg/L	0,028	<0,010
Hidrocarburos totales	mg/L	<10	<10
Cromo total	mg/L	0,037	<0,020
Arsénico total	mg/L	<0,020	<0,020
Bario total	mg/L	0,166	0,049
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001
Cadmio total	mg/L	<0,003	<0,003
Cobre total	mg/L	0,046	<0,020
Fósforo reactivo total	mg P- PO4 <sup>3-</sup> /L	0,114	0,116
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	59,7	183
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N /L	7,71	<2
Fenólicos	mg/L	<0,080	<0,080
Fósforo total	mg P/L	0,433	0,193
DQO	mg/L	<25	<25
Nitrógeno orgánico	mg N org /L	7,71	<1
Nitrógeno total	mg N /L	9,62	1,65
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>3</sub> - N/L	<1	<1
Alcalinidad, pH final titulación	U, de pH	4,48	4,5
Acidez total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	<10	<10
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	48,9	181
Calcio total	mg/L	20,2	54,3
Color real absorbancia a 436 nm	m-1	0,82	0,26

Parámetros	Unidades	Campaña 3	Campaña 3
		Feb-23 E3a- Río Cauca	Feb-23 E4 Qda La Ardita
Color real absorbancia a 525 nm	m-1	0,26	<0,100
Color real absorbancia a 620 nm	m-1	0,1	<0,100
Color real, pH muestra	U, de pH	7,33	8,02
Grasas y aceites	mg/L	<10	<10
Hierro total	mg/L	24,8	0,375
Magnesio total	mg/L	11,5	13
Nitratos	mg N- NO <sub>3</sub> /L	1,9	1,65
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> - N/L	0,013	<0,004
Potasio total	mg/L	4,42	5,13
Sodio total	mg/L	9,05	29,3
Sólidos disueltos totales	mg/L	136	322
Sólidos suspendidos totales	mg/L	302	9,55
Sólidos totales	mg/L	434	337
Turbiedad	NTU	450	6,9

*Fuente: SAG, 2023*

De acuerdo a los resultados expuestos en las Tabla 5-97 y Tabla 5-98, correspondientes a los puntos E1 y E2 ubicados aguas arriba y aguas abajo de la quebrada NN, durante las dos campañas llevadas a cabo en mayo y julio, respectivamente, se observó una tendencia común. En ambas campañas, diversos parámetros como los SAAM, sólidos suspendidos volátiles, DQO, mercurio, cobre total, nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, acidez total, grasas y aceites, nitratos, fenólicos, cadmio total, cromo total, arsénico total, plomo total, níquel total, cianuro total y zinc total arrojaron resultados por debajo del límite de cuantificación establecido por el laboratorio para cada uno de ellos.

Sin embargo, en el caso de la DBO<sub>5</sub>, el nitrógeno total y los nitritos, solo durante la primera campaña (temporada de lluvia) en el punto aguas arriba de la quebrada NN (E1), se registraron valores de 1,98 mg/L, 0,004 mg/L y 0,012 mg NO<sub>2</sub>-N/L, respectivamente. Estos valores superaron ligeramente el límite de cuantificación. No obstante, se destaca que se mantuvieron condiciones homogéneas a lo largo de ambas campañas en los puntos de muestreo cercanos a la quebrada NN en relación a estos parámetros

Para los puntos evaluados en la campaña 3, río Cauca (E3a) y la Quebrada La Ardita (E4), desarrollada en febrero de 2023, los siguientes parámetros: SAAM, cianuro total, hidrocarburos totales, arsénico total, mercurio, cadmio total, fenólicos, DQO, nitrógeno

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

amoniacal, acidez total y grasas y aceites; presentaron resultados por debajo de los límites de cuantificación establecidos por el laboratorio para cada uno de ellos.

En E4 también parámetros como Níquel total, DBO<sub>5</sub>, Sólidos suspendidos Volátiles, Zinc Total, cloruros, plomo total, cromo total, cobre total, Nitrógeno total Kjeldalh, nitrógeno orgánico y nitritos presentaron valores por debajo del límite de cuantificación establecidos en cada uno por el laboratorio.

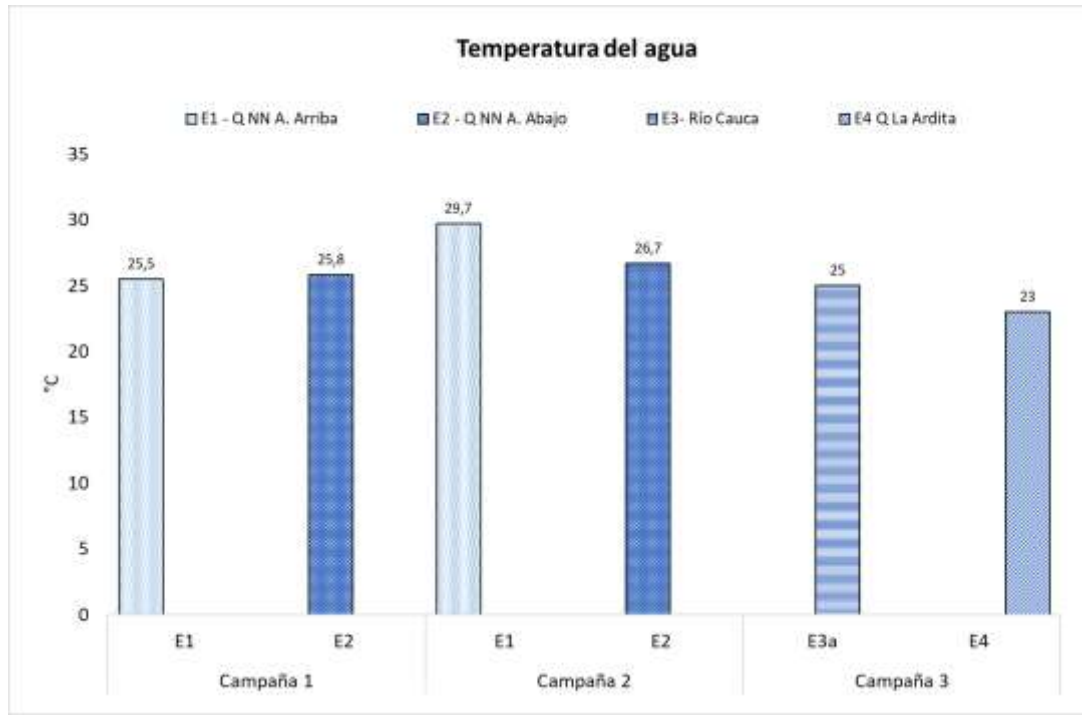
#### 5.1.7.1.1 Temperatura del agua:

Esta variable es de suma importancia dentro de los ecosistemas acuáticos ya que se encuentra directamente relacionada con las concentraciones de oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y el desarrollo de la vida en el medio. Además de esto, temperaturas superiores a los 40°C indican posible presencia de vertimientos de tipo industrial sobre el cuerpo de agua e interfieren con el desarrollo de la fauna acuática.

En la Figura 5-86, se relacionan los resultados obtenidos para la temperatura en los puntos evaluados en el área de influencia abiótica, durante las tres campañas, como se puede observar para el punto E1 caracterizado en mayo (temporada de lluvias) y julio (temporada seca), la tendencia fue a registrar mayores valores de temperatura durante la campaña 2 (temporada seca), registrándose el valor máximo en el punto aguas arriba con un resultado de 29.7°C, mientras que para ese mismo punto en la temporada de lluvias el resultado fue de 25.5°C; en la zona de aguas abajo la diferencia de los resultados en ambas campañas fue menor a 1°C.

Por su parte el río Cauca registro una temperatura de 25°C y el punto E4 de 23°C, durante la tercera campaña desarrollada en febrero de 2023.

Como se pudo apreciar en ninguno de los puntos hubo valores que sobrepasaran los 30°C, por lo cual la referencia mencionada al principio no fue superada.



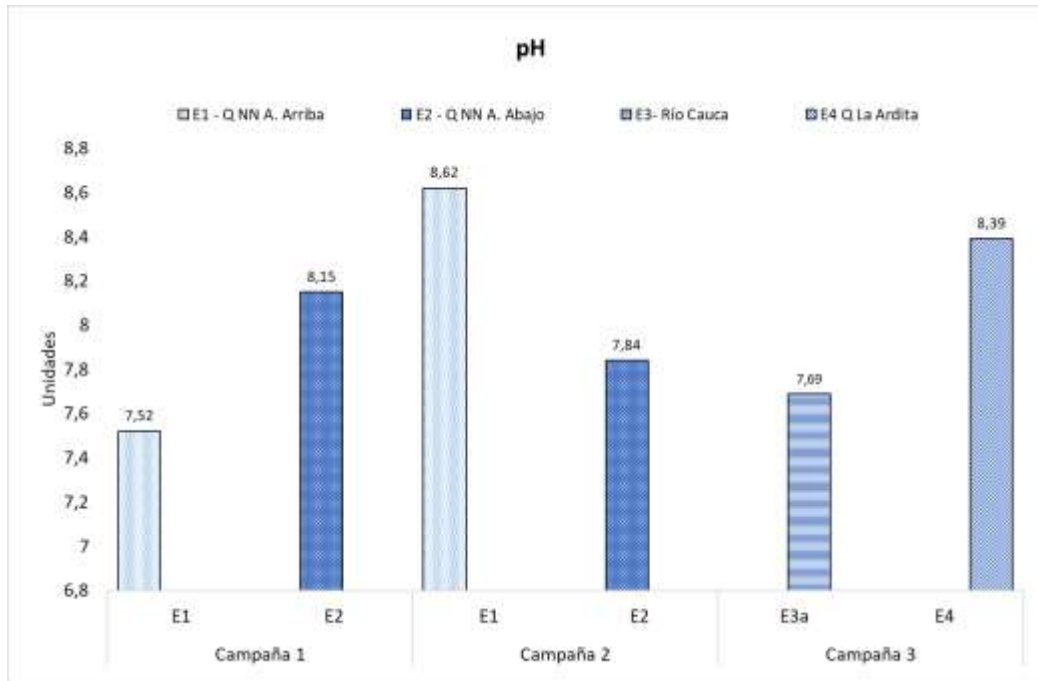
**Figura 5-86. Temperatura del agua registrada en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.2 Potencial de Hidrogeno (pH)

Según los criterios de destinación del recurso hídrico para la preservación de flora y fauna (artículo 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015) se establece un rango óptimo de pH en aguas cálidas dulces de 4,5 a 9,0 U de pH, en el cual se incluyen todos los resultados encontrados durante las tres campañas ejecutadas en todos los puntos asociados al área de influencia abiótica.





**Figura 5-87. pH del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

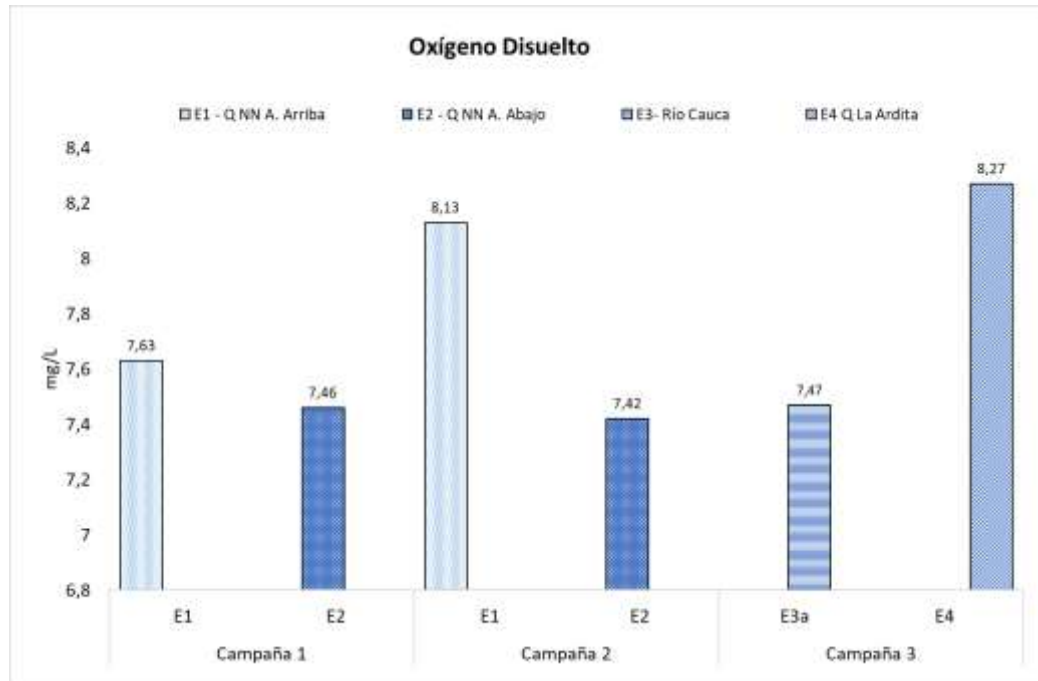
*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.3 Oxígeno Disuelto:

Después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. Solo tiene valor si se mide con la temperatura, para poder así establecer el porcentaje de saturación. En general, la solubilidad del oxígeno disminuye a medida que la temperatura se incrementa según Pérez y Restrepo (2008)<sup>119</sup>. Es una de las condiciones más importantes para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos, otras variables que dependen de este parámetro son, tasa fotosintética, DBO<sub>5</sub>, DQO, altitud, salinidad inversamente proporcional al igual que el contenido mineral

Los criterios de destinación del recurso hídrico para la preservación de flora y fauna (artículo 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015) establecen un valor mínimo de oxígeno disuelto de 4,0 mg/L para sustentar las diferentes especies aerobias presentes en las aguas cálidas y dulces. Esta concentración de oxígeno disuelto se alcanzó en todos los puntos asociados al área de influencia abiótica, para las tres campañas.

<sup>119</sup> Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.



**Figura 5-88. Oxígeno Disuelto del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

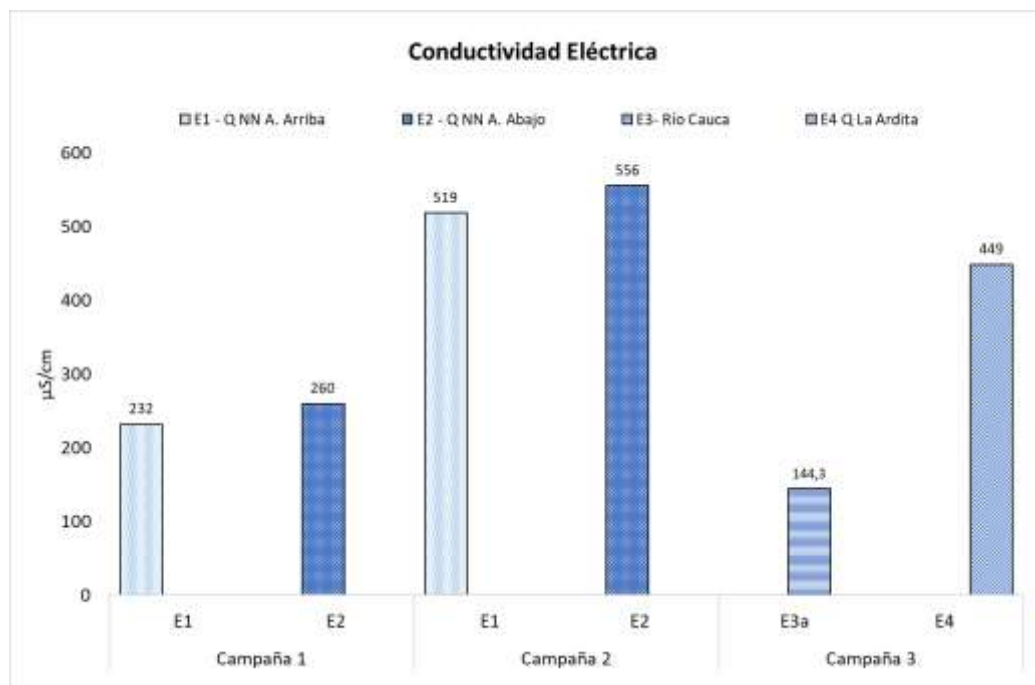
#### 5.1.7.1.4 Conductividad Eléctrica:

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua de conducir electricidad. Su magnitud crece con la temperatura y el contenido de iones disueltos; sin embargo, también es relevante la carga eléctrica del ion, el estado de disociación, la movilidad, etc. Los iones fundamentales que conforman el agua se clasifican como aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato) y cationes (sodio, calcio y magnesio). Otros iones menos importantes son: fluoruro, bromuro, sulfuro, fosfato, ion manganeso, ion amonio, ion litio, etc. En el estudio de Gualdrón<sup>120</sup> (2016), los valores de conductividad eléctrica promedio para ríos de montaña en Colombia fueron de 30-60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sin embargo, es importante tener en cuenta que los valores de conductividad eléctrica pueden variar dependiendo de la ubicación y otros factores, como se menciona en los resultados de búsqueda anteriores. Por ejemplo, en un estudio de la calidad del agua de los ríos en Colombia, se encontró que la conductividad eléctrica varió entre 95 y 165  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (Durán, 2018)<sup>121</sup>

<sup>120</sup> Características físicas, químicas y biológicas de los ríos de montaña en Colombia, Gualdrón (2016)

<sup>121</sup> Durán, Luis. (2018). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. Dinámica ambiental. 83-102. 10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593.

Como se puede observar en la Figura 5-89, en todos los puntos asociados se superan las referencias mencionadas anteriormente, sin embargo, en la EPA (United States Environmental protection Agency) la agencia de protección de estados unidos, se encontró que en algunos estudios de aguas dulces continentales indican que los arroyos que sustentan buenas pesquerías mixtas tienen un rango entre 150 y 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Una conductividad fuera de este rango podría indicar que el agua no es apta para determinadas especies de peces o macroinvertebrados. Considerando esta última referencia esta solo se superó durante la campaña 2 correspondiente a la temporada seca en los puntos E1 y E2 ubicados aguas arriba y aguas debajo de la Quebrada NN.



**Figura 5-89. Conductividad eléctrica del agua registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.5 Caracterización microbiológica

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran en las plantas, el suelo, los animales, ubicándose en estos últimos e incluyendo los humanos en el tracto intestinal, por lo que su presencia en cuerpos de aguas es muy común, generalmente las Coliformes Totales se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo, su presencia en altas concentraciones es uno de los principales indicadores de contaminación de las aguas.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de Klebsiella. Este tipo de organismos se puede ver favorecida a su constante crecimiento en condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. La presencia de *Escherichia coli* indica contaminación fecal en agua, ya que este microorganismo es habitante normal del tracto digestivo de animales de sangre caliente y rara vez se encuentra en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal.

En la Tabla 5-99, se indican los valores máximos permisibles para las especies de coliformes en la normatividad colombiana del Decreto 1076 de 2015, para fuentes superficiales.

**Tabla 5-99. Límites máximos permisibles Decreto 1076 DE 2015, para Coliformes.**

Límites máximos permisibles Decreto 1076 DE 2015			
USO	Artículo	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
Humano y Domestico (Tratamiento convencional)	2.2.3.3.9.3	20000	2000
Agrícola	2.2.3.3.9.5	50000	1000
Fines recreativos mediante contacto primario	2.2.3.3.9.7	1000	200
Fines recreativos mediante contacto secundario	2.2.3.3.9.7	5000	-

-El Decreto 1076 de 2015, no establece límite permisible para este parámetro para el artículo en cuestión

Fuente: SAG, 2023 a partir de Decreto 1076 de 2015

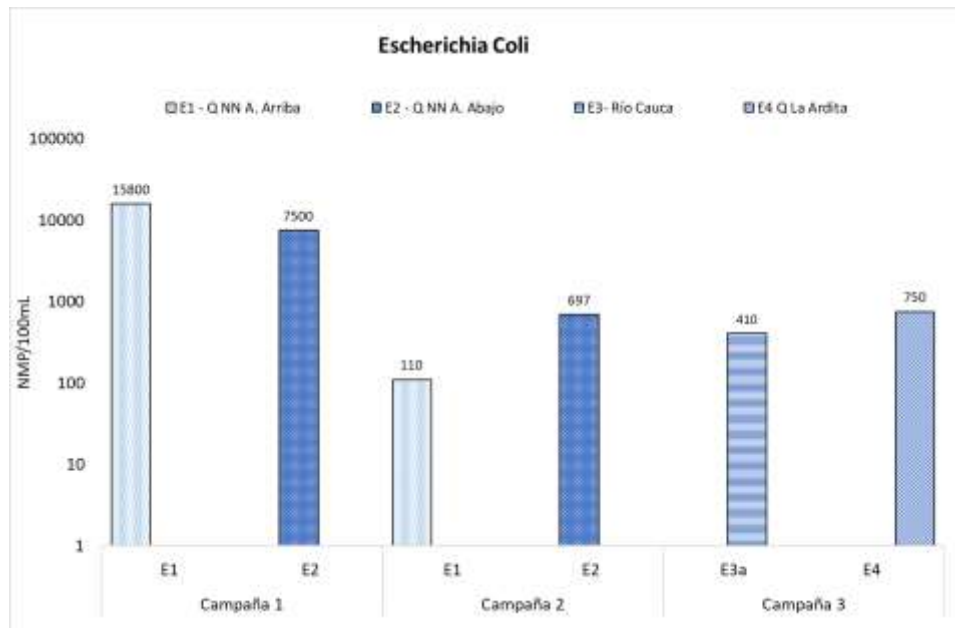
#### 5.1.7.1.5.1 Coliformes Fecales (*E. Coli*)

De acuerdo con la Tabla 5-99, el límite más restrictivo para esta especie de coliformes es de 200 NMP/100mL, esta referencia fue superada en la mayoría de campañas, excepto en la campaña 2 en el punto E1 (Aguas arriba QNN), para la campaña 2 y 3 en todos los puntos evaluados se cumplió el límite de coliformes fecales para uso humano y doméstico (tratamiento convencional) y uso agrícola. Solo durante la campaña 1 (temporada de lluvias) se registraron valores por encima de 2000 NMP/100 mL.

#### 5.1.7.1.5.2 Coliformes Totales

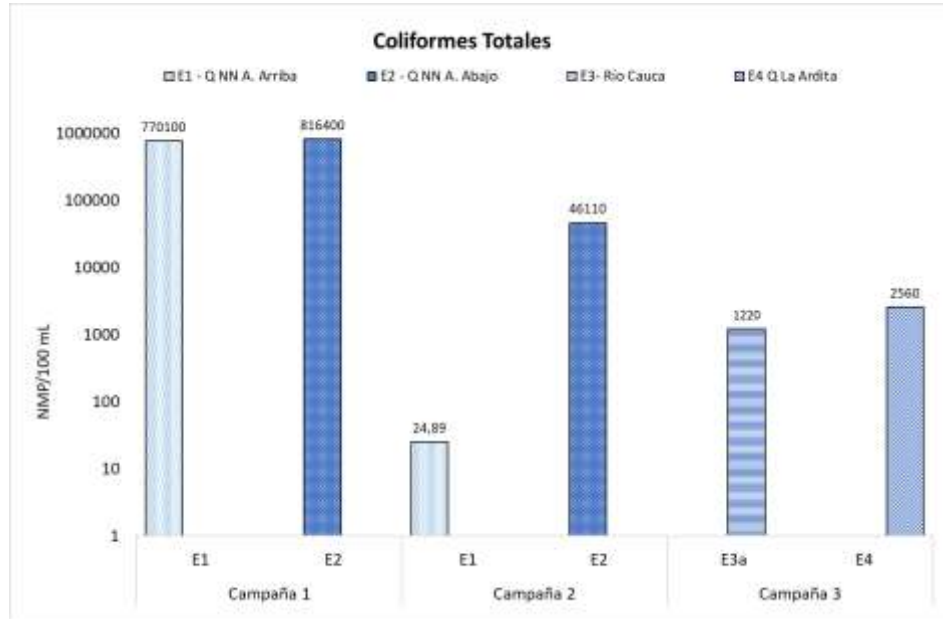
Respecto a los resultados de coliformes totales, el límite más restrictivo presentado en la Tabla 5-99, no se cumple en ninguna de las campañas desarrolladas, sin embargo, los puntos evaluados durante la tercera campaña cumplieron con todos los demás usos. Con respecto a los resultados en E1 y E2 ambos ubicados sobre la misma quebrada NN, aguas

arriba y aguas debajo de la misma respectivamente, para la campaña 1 se presentaron las concentraciones más altas de coliformes totales con resultados mayores a 50000 NMP/100 mL, para la campaña 2 (temporada seca), fue notable la disminución en la concentración de coliformes en E1 y E2 con resultados por debajo de 50000, cumpliendo con el uso agrícola de acuerdo a la Tabla 5-99. El punto aguas arriba durante esta misma campaña 2 cumplió con los criterios para uso Humano y Domestico (Tratamiento convencional) y Fines recreativos mediante contacto secundario.



**Figura 5-90. *Escherichia Coli* registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*



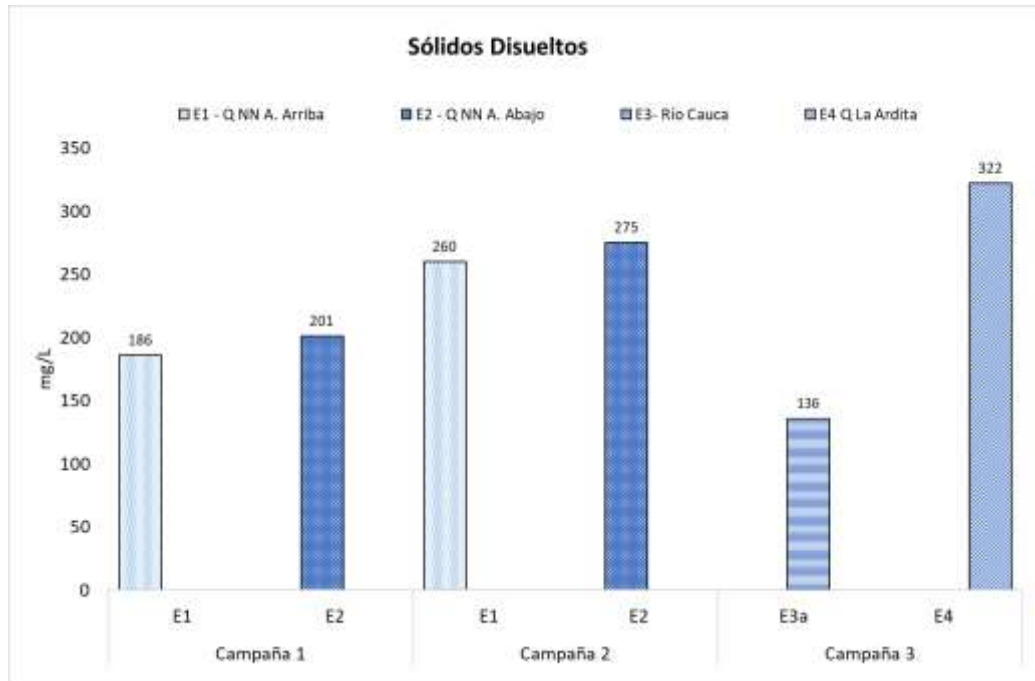
**Figura 5-91. Coliformes totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.6 Especies de sólidos

##### 5.1.7.1.6.1 Sólidos Disueltos (SD):

Los SD incluyen las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua. En Colombia, el instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM) es el responsable de la medición y monitoreo de la calidad de agua en los ríos, sin embargo, no se ha reglamentado la valoración de calidad de las aguas continentales en términos de sólidos disueltos. Como se puede evidenciar en la Figura 5-92, los resultados de esta especie de sólidos en las tres campañas fueron relativamente homogéneo en todos los puntos, ya que los resultados oscilaron entre 136 (E3a) y 322 mg/L (E4), finalmente en los puntos E1 y E2 ubicados sobre la Quebrada NN oscilaron entre 186 y 275 mg/L, siendo la campaña 2 (temporada seca), la que mayores registros presento.



**Figura 5-92. Sólidos disueltos, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

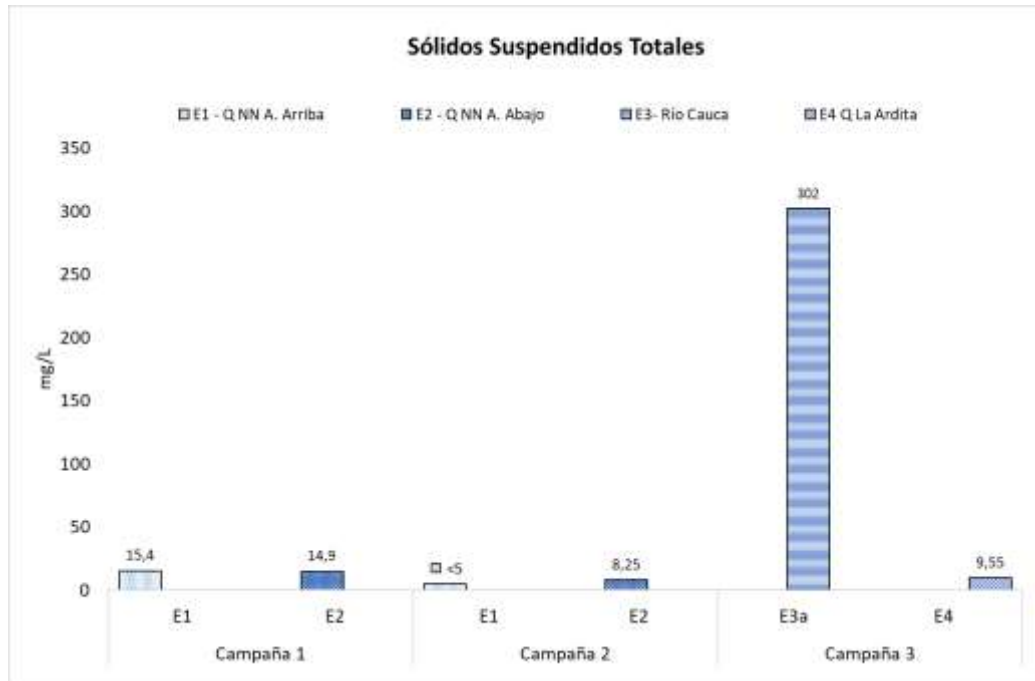
Fuente: SAG, 2023

#### 5.1.7.1.6.2 Sólidos Suspendidos Totales:

Los sólidos suspendidos (SST) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SST son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (Sierra, 2011)<sup>122</sup>. Ramírez y Viña (1998)<sup>123</sup> sugieren un valor límite de 150 mg/L de SST que indica contaminación en un cuerpo de agua, de acuerdo a los resultados presentados en la Figura 5-93, solo en la campaña 3, en el punto E3a (Río Cauca) no se cumplió con la referencia mencionada ya que el resultado fue de 302 mg/L, para los demás puntos todos los resultados se ubicaron por debajo de 20 mg/L.

<sup>122</sup> Sierra Ramírez, C. A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico.

<sup>123</sup> RAMÍREZ GONZÁLEZ, Alberto y VIÑA VIZCAÍNO, Gerardo. Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, 1998. 293 p



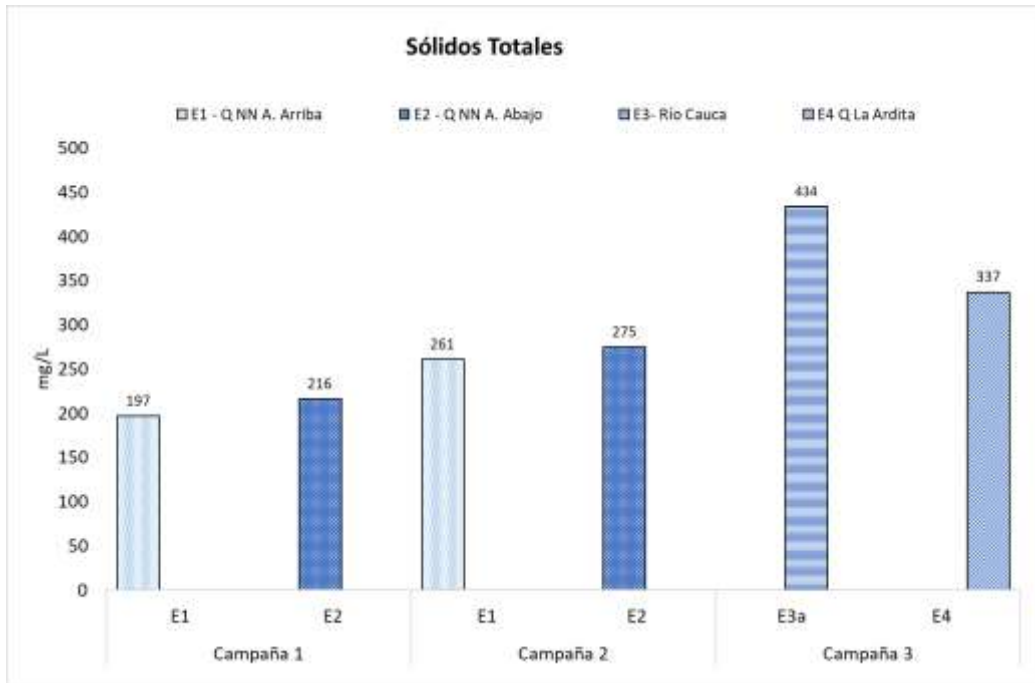
**Figura 5-93. Sólidos suspendidos totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.6.3 Sólidos Totales:

Los resultados de los sólidos totales que consolidan los resultados de las especies de sólidos mostradas anteriormente estuvieron representados con mayores aportes en su mayoría por la especie de sólidos disueltos, el punto con mayores concentraciones de sólidos fue E3a (río Cauca), seguido del punto E4 ambos monitoreados en febrero de 2023 durante temporada seca, por su parte en E1 y E2 ubicados aguas arriba y aguas debajo de la Q. NN y muestreados durante la campaña 1 y 2, fue evidente un leve aumento de los sólidos totales durante la temporada seca.





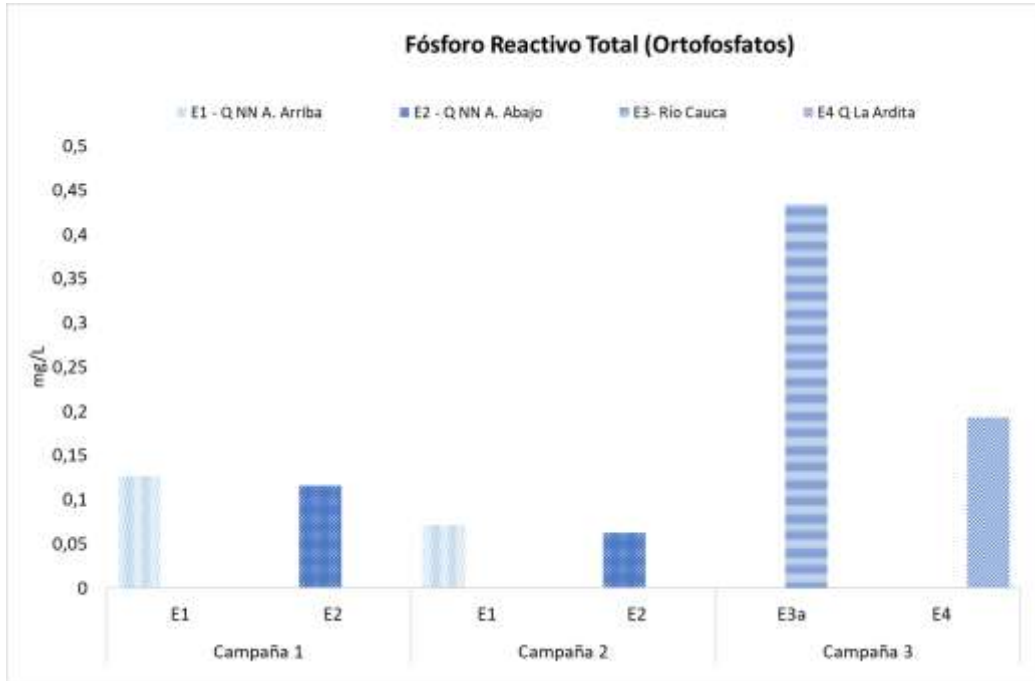
**Figura 5-94. Sólidos totales, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2023

#### 5.1.7.1.7 Especies de Fósforo:

##### 5.1.7.1.7.1 Fósforo Reactivo Total (Ortofosfatos)

Los ortofosfatos son la forma más importante de fósforo debido a que se encuentran disueltos en el agua, y de esta manera es que pueden ser asimilados por las plantas. A esta forma de fósforo se le conoce como fósforo aprovechable o disponible. La disponibilidad de los fosfatos como  $PO_4^{3-}$  aumenta en pH básicos y disminuye en pH ácidos. En parte esto, explica porque los lagos de pH básicos son más productivos que los ácidos (Roldan y Ramírez, 2008). De acuerdo a los resultados de la gráfica los valores de orto fosfatos más altos se presentaron durante la campaña 2 (temporada seca) en los puntos E1 y E2. El artículo "Determinación de fosfatos en aguas por método colorimétrico. Validación del método" menciona que las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/L  $PO_4-P$  en el agua corriente valores bajo los cuales se encontraron todos los puntos evaluados durante las tres campañas.



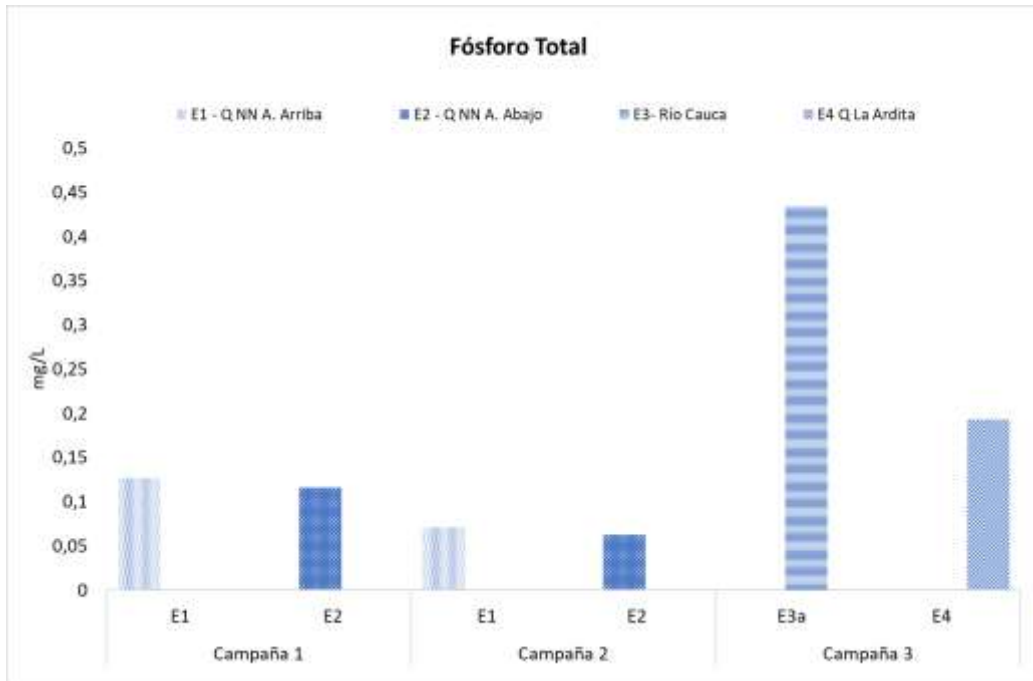
**Figura 5-95. Ortofosfatos en el agua, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2023

#### 5.1.7.1.7.2 Fósforo Total

El Fósforo Total (PT) es una medida de la concentración del fósforo total biológicamente disponible y por ende de la calidad del cuerpo de agua. No todo el fósforo total está realmente disponible para los organismos; la disponibilidad biológica del elemento depende de muchos factores, incluyendo las especies presentes y sus concentraciones (Murphey y Riley, 1962). La norma colombiana establece límites para la especie Fósforo soluble y no para la especie Fósforo Total. Según Ramírez y Viña (1998)<sup>124</sup>, cuerpos de agua con concentraciones entre 0.02 mg/L y 1 mg/L podrían considerarse eutrofizados por consecuencia del fósforo. Teniendo en cuenta la referencia anterior ninguno de los puntos evaluados durante las tres campañas se podría considerar eutrofizados, ya que el valor más alto se reportó durante la campaña 3 en el punto E3a (río Cauca) y fue de 0,433 mg/L.

<sup>124</sup> RAMIREZ GONZÁLEZ, Alberto y VIÑA VIZCAÍNO, Gerardo. Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, 1998. 293 p



**Figura 5-96. Fósforo total del agua, registrado en las tres campañas de monitoreo en el área de influencia abiótica.**

*Fuente: SAG, 2023*

#### 5.1.7.1.8 Dureza Total

Las fuentes naturales principales de la dureza del agua provienen del suelo y son las rocas sedimentarias, las percolaciones y la escorrentía. Las principales fuentes industriales de la dureza del agua son las industrias químicas inorgánicas y la industria minera. Ambos elementos (calcio y magnesio) forman parte, además, de compuestos ampliamente utilizados en construcción, industrias textiles, refinerías, agricultura, medicina, entre otros rubros, los que, al ser eliminados finalmente en los cursos de agua, van a contribuir a la modificación de los niveles de dureza de una zona determinada. Las aguas con valores bajos de dureza se denominan “aguas blandas” y biológicamente son poco productivas. Por el contrario, aguas con altos valores de dureza se denominan duras y por lo regular, son productivas (en términos de biomasa).

Según Ramírez y Viña (1998)<sup>125</sup>, valores de dureza inferiores a 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L son propios de un agua blanda, rango bajo el cual se encontró solo el resultado de la campaña 3 en el punto E3a (río Cauca), para el restante de puntos los resultados se ubicaron por encima de

<sup>125</sup> RAMIREZ GONZÁLEZ, Alberto y VIÑA VIZCAÍNO, Gerardo. Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, 1998. 293 p

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

dicha referencia indicando que son aguas moderadamente duras y duras ya que hay valores mayores a 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

#### 5.1.7.1.9 Alcalinidad Total

La alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos de una solución acuosa. La alcalinidad del agua está compuesta mayoritariamente por iones de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>). El agua contiene aniones que actúan como bases frente a ácidos fuertes, tales como: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HS<sup>-</sup>, aniones orgánicos y OH. La suma de las concentraciones de estos iones en equivalentes se define como la alcalinidad total.

Según la EPA (2012), la alcalinidad de las corrientes generalmente se ve influenciada por rocas, suelos, sales, ciertas actividades de las plantas y ciertas descargas de aguas residuales industriales. Esta medida se traduce en la cantidad de ácido requerido para bajar el pH del cuerpo del agua a 4,2; tomando esto en consideración, se esperaría que al presentar un pH alto se obtendrán de igual forma valores de alcalinidad más altos.

Según Ramírez y Viña, valores de alcalinidad superiores a 200 mg CaCO<sub>3</sub>/L indican contaminación del recurso hídrico, de acuerdo con los resultados obtenidos en las tres campañas todos los puntos cumplieron esta referencia.

#### 5.1.7.1.10 Metales y Metaloides

Con respecto a los metales y metaloides que presentaron valores por encima de los límites de cuantificación establecidos en la mayoría de campañas fueron el Bario total, Calcio total, hierro total, magnesio total, potasio total y sodio total.

Para el Bario total el Decreto 1076 de 2015, establece valores máximos permisibles de 1.0 en los artículos 2.2.3.9.3 y 2.2.3.9.4 para consumo humano y uso doméstico con tratamiento convencional y desinfección respectivamente valor que no fue superado en ninguna de las campañas realizadas.

El calcio y el magnesio son los cationes más abundantes en aguas dulces. La actividad química de estos dos elementos es similar, en particular, en la formación de sales de carbonato, y ambos pueden ser factores limitantes de los procesos biológicos en los ecosistemas acuáticos. De estos dos iones, el calcio es, por lo regular, el más abundante. En aguas que poseen menos de 50 mg/L de sólidos disueltos, el calcio representa cerca del 48% de todos los cationes presentes, y el magnesio, el 14%. En aguas con valores superiores a 50 mg/L de sólidos disueltos, esta proporción puede aumentar hasta llegar aproximadamente al 53% para el calcio y 34% para el magnesio (Reid, 1966). El calcio en el agua es importante para el metabolismo y para la formación de huevos y dientes en los organismos acuáticos. El magnesio, por su parte, es por lo regular el segundo catión más importante en aguas continentales. Su principal fuente son también los silicatos, por ejemplo, el MgSiO<sub>4</sub>, el cual, en presencia de ácido carbónico, forma carbonato de magnesio y serpentina (H<sub>4</sub>Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>9</sub>). El magnesio constituye el núcleo de la molécula de clorofila, de ahí su importancia para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. Los

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

resultados de calcio durante la primera campaña no superaron valores de 30 mg/L, para la campaña 2 aguas abajo (E2) se presentó un valor de 42 mg/L, mientras que en la campaña 3 la quebrada La Ardita (E4) registró el valor máximo de 54,3 mg/L. Mientras que respecto al magnesio los resultados en las tres campañas oscilaron entre 8,61 (E1), campaña 1, y 16,1 mg/L (E2) campaña 2.

La presencia de hierro en las aguas superficiales y subterráneas se debe al poder disolvente que tiene el CO<sub>2</sub> sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble, que por medio de escorrentía o infiltración llegan a las aguas. Las aguas con alto contenido de este metal al entrar en contacto con el aire u oxígeno pueden precipitar, originando aumento en los sólidos sedimentables y coloración de las aguas. El contenido de hierro en aguas neotropicales es relativamente bajo. El río Amazonas y sus tributarios presentan valores de 0,1 mg/L. Ciénagas y embalses presentan valores de 0,8 mg/L. En ríos con cierto grado de contaminación como el Cauca y el Magdalena, se han reportado valores de 5,0 mg/L y 6,0 mg/L, respectivamente. De acuerdo a estas referencias el punto sobre el río Cauca evaluado durante la campaña 3 presentó un valor de 24,8 mg/L, superando ampliamente la referencia anterior e indicando un grado de contaminación importante. Mientras que en los demás puntos los resultados no superaron los 1,8 mg/L e incluso en el punto E1 durante la segunda campaña se reportó un valor bajo el límite de cuantificación establecido por el laboratorio de <0,20 mg/L.

El sodio y el potasio son dos cationes que, por lo regular, se encuentran en bajas concentraciones en las aguas dulces, estando el sodio un poco por encima del potasio. Ambos cationes intervienen en el transporte de otros iones en las células, pero no se consideran factores limitantes para la productividad en el agua. El sodio se encuentra en el ambiente en forma de silicatos como NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (albita) y NaAlSiO<sub>4</sub> (nefelina). La forma más común en que se encuentra es como NaCl (halita). Maier y Takino (1985) reportaron valores promedio de 21 mg Na/L para 17 embalses en el estado de Sao Paulo. El río Amazonas presenta valores de 2,5 mg Na/L, en tanto que para los ríos Cauca y Magdalena se reportan valores de 10,0 y 7,0 mg Na/L, respectivamente. En cuanto al potasio, sus valores son, en general, más bajos que los del sodio. Se encuentra en la naturaleza como KAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (leucita) en rocas de origen volcánico y como KCl (silvita), menos común que el NaCl. El potasio no es soluble en agua, pero puede reaccionar con ella para formar hidróxido de potasio. De acuerdo a los resultados de sodio total en las tres campañas desarrolladas el resultado más alto se presentó en E4 (Quebrada La Ardita) con un valor de 29,3 mg/L, mientras que el río Cauca tuvo un resultado de 9,05 mg/L y finalmente en E1 y E2 evaluadas en temporada de lluvias y temporada seca se logró apreciar un aumento en los valores de sodio durante la campaña 2 (temporada seca), con resultados por encima de 20 mg/L, mientras en la temporada de lluvias los resultados estuvieron por debajo de 20 mg/L. Finalmente el potasio total tuvo un comportamiento homogéneo en E1 y E2 en ambas temporadas con valores que oscilaron entre 2,61 mg/L y 2,91 mg/L, mientras que en el río Cauca (E3a) durante la tercera campaña el resultado fue de 4,42 mg/L y en E4 de 5,13 mg/L.

### 5.1.7.2 Criterios de destinación

A partir de los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada en los puntos de interés en las tres campañas, se determinó la destinación del recurso de la fuente de agua superficial de interés considerando los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015 (ver Tabla 5-100), así:

- Artículos 2.2.3.3.9.3: Uso Doméstico y Consumo Humano - Tratamiento Convencional
- Artículos 2.2.3.3.9.4: Uso Doméstico y Consumo Humano – Desinfección
- Artículo 2.2.3.3.9.5: Uso Agrícola
- Artículo 2.2.3.3.9.6: Uso Pecuario
- Artículos 2.2.3.3.9.7: Uso Recreativo – Contacto Primario
- Artículos 2.2.3.3.9.8: Uso Recreativo – Contacto Secundario
- Artículo 2.2.3.3.9.10: Conservación de Fauna y Flora

**Tabla 5-100. Cumplimiento de los criterios de destinación del recurso hídrico.**

Estación - campaña	Decreto 1076 de 2015						
	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6	Artículo 2.2.3.3.9.7	Artículo 2.2.3.3.9.8	Artículo 2.2.3.3.9.10
	Humano Convencional	Humano Desinfección	Agrícola	Pecuario	Recreativo Contacto Primario	Recreativo Contacto Secundario	Conservación Fauna y Flora
E1 Campaña 1	NC	NC	NC	C	NC	NC	NC
E2 Campaña 1	NC	NC	NC	C	NC	NC	NC
E1 Campaña 2	NC	NC	C	C	NC	NC	NC
E2 Campaña 2	NC	NC	NC	C	NC	NC	NC
E3a Campaña 3	NC	NC	C	C	NC	NC	NC
E4 Campaña 3	NC	NC	C	C	NC	NC	NC

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

Fuente: SAG, 2024 a partir del Decreto 1076 de 2015

De acuerdo a la evaluación de los criterios de destinación consignados en el Decreto 1076 de 2015 y considerando los parámetros monitoreados en las tres campañas en los puntos anteriormente descritos, todos los puntos cumplen con los criterios de destinación para uso pecuario, y no cumplen con los criterios para los usos domésticos (humano convencional y desinfección), recreativo contacto primario, recreativo contacto secundario y conservación de flora y fauna. En cuanto al uso agrícola, no cumplen los puntos E1 y E2 (campaña 1), y E2(campaña 2).

### 5.1.7.3 Indicadores del estado de calidad del agua

#### 5.1.7.3.1 Índice de calidad de agua WQI

Para complementar el análisis de la fuente de agua superficial se evaluó el índice de calidad de agua WQI - NSF propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF) de los Estados Unidos de América en 1970, considerando las concentraciones medidas de los constituyentes de interés, en los puntos de monitoreo de calidad de agua.

Este índice de calidad de agua evalúa las concentraciones de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, nitratos, sólidos totales, coliformes totales, turbiedad y pH, y los cambios en la temperatura. Es un índice robusto debido a que evalúa una cantidad relevante de variables asociadas con la calidad del recurso hídrico. Mediante la metodología establecida por la NSF, se evalúan nueve parámetros (Tabla 5-101), en donde cada uno de ellos presenta un valor de ponderación independiente, los cuales están directamente relacionados con el grado de afectación que puede llegar en la calidad del agua.

**Tabla 5-101. Peso y valores ponderados para la metodología de Calidad de Agua.**

Variable	Valor Relativo (Vi)
Porcentaje de Saturación de Oxígeno	0,17
Coliformes Fecales	0,15
pH	0,12
DBO <sub>5</sub>	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos Totales	0,08
Total	1,00

Fuente: Oram, B. 2010, Citado por EPM, 2012 El índice se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i \times l_i$$

Dónde:

- WQI = Índice de Calidad de agua
- Wi = Peso relativo del parámetro i
- Li = Valor relativo del parámetro i.
- n = número de parámetros

En la Tabla 5-102 se presenta las ecuaciones para el cálculo de los valores relativos de los parámetros, en función de sus condiciones actuales. Cuando alguna de las variables falta, el valor total del Índice puede ser calculado por la distribución de su peso entre las demás variables y su posterior recálculo. Para la aplicación de este Índice, se debe tener en cuenta que este no aplica si el parámetro faltante es el oxígeno disuelto, ya que éste es el factor restrictivo y condicionante del índice.

**Tabla 5-102. Funciones correspondientes para cada parámetro.**

Parámetro	Ecuación	Correlación	Peso-wi
% Saturación de oxígeno	$QOD = 3,1615E-08(OD\%)^5 - 1,0304E-05(OD\%)^4 + 1,0076E-03(OD\%)^3 - 2,7883E-02(OD\%)^2 + 8,4068E-01(OD\%) - 1,6120E-01$	$R^2 = 0,9995$	0,17
Demanda bioquímica de oxígeno	$QDBO = 1,8677E-04(DBO)^4 - 1,6615E-02(DBO)^3 + 5,9636E-01(DBO)^2 - 1,1152E+01(DBO) + 1,0019E+02$	$R^2 = 0,9989$	0,11
Coliformes fecales	$\ln(QColi) = -0,0152(\ln C)^2 - 0,1063(\ln C) + 4,5922$	$R^2 = 0,999$	0,16
Nitratos	$QNitra = 3,5603E-09N^6 - 1,2183E-06N^5 + 1,6238E-04N^4 - 1,0693E-02N^3 + 3,7304E-01N^2 - 7,5210N + 1,0095E+02$	$R^2 = 0,9972$	0,10
pH	Para pH ≤ 7,5 $QpH = -0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$	$R^2 = 0,9981$	0,11
	Para pH > 7,5 $QpH = -1,11429pH^4 + 44,50952pH^3 - 656,60000pH^2 + 4215,34762pH - 9840,14286$	$R^2 = 1,0000$	
Cambio de temperatura	$QT = 1,9619E-06T^6 - 1,3964E-04T^5 + 2,5908E-03T^4 + 1,5398E-02T^3 - 6,7952E-01T^2 - 6,7204E-01T + 9,0392E+01$	$R^2 = 0,9972$	0,10
Sólidos totales	Para ST > 500 mg/l = 20	$R^2 = 0,9977$	0,07
	Para ST ≤ 500 mg/l $QST = -4,4289E-09ST^4 + 4,650E-06 ST^3 - 1,9591E-03 ST^2 + 1,8973E-01 ST + 8,0608E+01$		



Parámetro	Ecuación	Correlación	Peso-wi
Fosfatos	$QP = 4,67320E-03P^6 - 1,61670E-01P^5 + 2,20595P^4 - 1,50504E+01P^3 + 5,38893E+01P^2 - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$	R <sup>2</sup> = 0,9994	0,10
Turbiedad	Qtur > 100 = 5	R <sup>2</sup> = 0,9990	0,08
	Para Qtur <= 100 $QTur = 1,8939E-06Tur^4 - 4,9942E-04Tur^3 + 4,9181E-02Tur^2 - 2,6284Tur + 9,8098E+01$		
<b>Total, Índice de calidad del agua</b>			<b>1,00</b>

*Fuente: Oram, B. 2010, Citado por EPM, 2012*

El valor obtenido utilizando la ecuación expuesta anteriormente se compara con los rangos de ponderación de la Tabla 5-103.

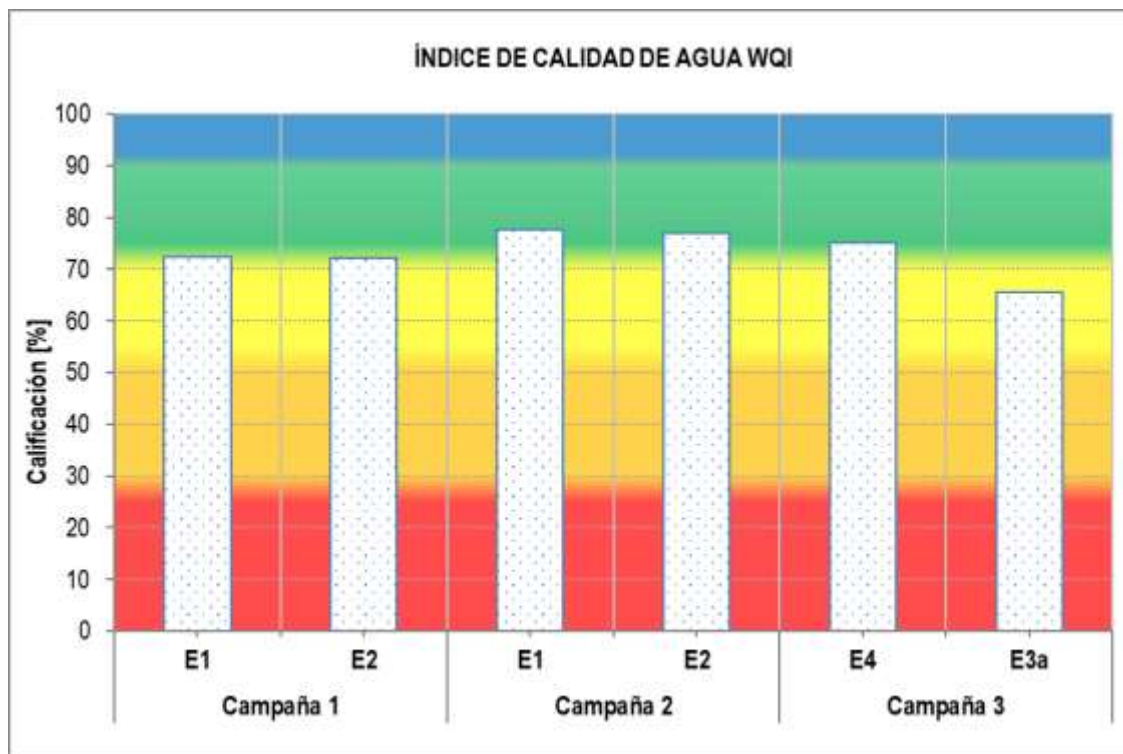
**Tabla 5-103. Rangos de ponderación para la calidad del agua.**

Rango de ponderación	Descriptor de calidad
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado menor o igual a 25 ( $\leq 25$ )	Muy malo
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado mayor a 25 y menor o igual a 50 ( $>25$ y $\leq 50$ )	Malo
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado mayor a 50 y menor o igual a 70 ( $>50$ y $\leq 70$ )	Regular
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado mayor a 70 y menor o igual a 90 ( $>70$ y $\leq 90$ )	Bueno
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado mayor de 90 ( $>90$ )	Excelente

*Fuente: Oram, B. 2010, adaptado por SAG, 2019*

De acuerdo con los resultados obtenidos con la caracterización de la calidad del agua durante las tres campañas desarrolladas en 2022 y 2023 en los puntos anteriormente descritos, el índice evaluado obtuvo calificaciones entre 72,22 y 77,56% para los puntos E1 y E2 en las campañas 1 y 2 presentando en todos los casos calidad de agua “Buena” gracias a buenas condiciones de oxigenación y baja contaminación por nutrientes. En la campaña 3, el punto E3a obtuvo una calificación de 65,47 lo que lo categoriza con una calidad “Regular” esto debido a que el río Cauca presenta un alto valor de turbiedad y de sólidos. Finalmente, en el punto E4 Quebrada La Ardita, la calidad de agua fue “buena” con un valor de 75,19% debido principalmente a las concentraciones de oxígeno y a sus bajos valores

de nutrientes (fosfatos y nitratos). En la Tabla 5-104 y Figura 5-97 se relacionan los resultados de WQI para las tres campañas.



**Figura 5-97. Resultado del WQI.**

*Fuente: SAG, 2024*

**Tabla 5-104. Resultado del WQI.**

Campaña	Tipo	Estación	WQI (%)	Calificación
Campaña 1	Quebrada NN	E1	72,32	Bueno
	Quebrada NN	E2	72,22	Bueno
Campaña 2	Quebrada NN	E1	77,56	Bueno
	Quebrada NN	E2	76,92	Bueno
Campaña 3	Río Cauca	E3a	65,47	Regular
	Quebrada La Ardita	E4	75,19	Bueno

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.7.3.2 Índices de contaminación (ICO'S) e índice de calidad del agua (ICA)

Ramirez et al (1999) plantearon cuatro índices de contaminación para la caracterización de aguas continentales: Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), Índice de

contaminación por materia orgánica (ICOMO), Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e Índice de contaminación trófico (ICOTRO). En el presente informe con el fin de establecer el nivel de afectación de los cuerpos de aguas superficiales monitoreados, se incluyó el análisis de los 4 índices de contaminación. Las metodologías para calcular estos índices se describen a continuación. En la Tabla 5-105 se presentan los rangos para la clasificación para los índices de contaminación.

**Tabla 5-105. Escala de Clasificación de los ICO's.**

Rango ICO's	Clasificación de Contaminación
0,8 - 1,0	Muy alta
0,6 - 0,8	Alta
0,4 - 0,6	Media
0,2 - 0,4	Baja
0,0 - 0,2	Muy baja

*Fuente: Ramírez et al, 1999*

**Índice de contaminación por mineralización (ICOMI):** se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos. Para su determinación se presentan a continuación las fórmulas utilizadas.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{\%Alcalinidad})$$

La  $I_{Conductividad}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{Conductividad} = 10^{-3,26 + 1,34 \text{ Log}_{10} [Conduct.]}$$

Dónde:

- [Conduct] = Valor de conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- [Conduct] > 270  $\text{mg}/\text{l}$  tienen  $I_{conduct} = 1$

La  $I_{Dureza}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{Dureza} = 10^{-9,09 + 4,40 \text{ Log}_{10} [Dureza]}$$

Dónde:

- [Dureza] = Valor de dureza en  $\text{mg}/\text{l}$
- [Dureza] > 110  $\text{mg}/\text{l}$  tienen  $I_{Dureza} = 1$
- [Dureza] < 30  $\text{mg}/\text{l}$  tienen  $I_{Dureza} = 0$

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

La  $I_{Alcalinidad}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 [Alk]$$

Donde:

- [Alk] = Valor de Alcalinidad en mg/l
- [Alk] > 250 mg/l tienen IAlcalinidad = 1
- [Alk] < 50 mg/l tienen IAlcalinidad = 0

**Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):** al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas. El ICOMO también se calcula como el valor promedio de las tres variables.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes\ Tot} + I_{\% \text{ Oxígeno}})$$

La  $I_{DBO}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,7 \text{Log}_{10} [DBO_5]$$

Dónde:

- [DBO5] = Concentración de DBO5 en mg/l
- [DBO] > 30 mg/l tienen IDBO = 1
- [DBO] < 2 mg/l tienen IDBO = 0

La  $I_{Coliformes\ Tot}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{Coliformes\ Tot} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10} [Coliformes_{Tot}]$$

Dónde:

- [Coliformes Tot] = Coliformes Totales en NMP/100ml
- [Colif Tot] > 20.000 NMP/100 ml tienen ICol Tot = 1
- [Colif Tot] < 500 NMP/100 ml tienen ICol Tot = 0

La  $I_{\% \text{ Oxígeno}}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{\% \text{ Oxígeno}} = 1 - 0,01 [\% \text{ Oxígeno}]$$

Dónde:

- [% Oxígeno] = Saturación de oxígeno en porcentaje

- [% Oxígeno] > 100% tienen I %Oxígeno = 0

**Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):** se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable presenta alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 [SST]$$

Dónde

- [SST] = Concentración de Sólidos Suspendidos en mg/l
- [SST] > 340 mg/l tienen ICOSUS = 1
- [SST] < 10 mg/l tienen ICOSUS = 0

**Índice de contaminación trófico (ICOTRO):** se determina en esencia por la concentración del fósforo total.

En este índice, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta, tal y como se muestra en la Tabla 5-106.

**Tabla 5-106. Clasificación índice ICOTRO.**

Concentración Fósforo Total (g/m3)	Categoría índice
<0,01	Oligotrófico
0,01-0,02	Mesotrófico
0,02-1	Eutrófico
>1	Hipereutrófico

*Fuente: Ramírez et al, 1999*

**Índice de calidad de aguas superficiales (ICA-IDEAM):** “El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de seis variables” IDEAM, 2011. “Corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de seis variables fisicoquímicas básicas” IDEAM, 2011.

Las variables y sus respectivas ponderaciones para el anterior índice se muestran en la Tabla 5-107.

**Tabla 5-107. Ponderación de variables ICA-IDEAM.**

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales	mg SST/L	0,17
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	0,17
Nitrógeno total /Fósforo Total	-	0,17

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Conductividad eléctrica	μS/cm	0,17
Potencial de Hidrógeno - pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: IDEAM, 2011

La suma ponderada de las seis variables toma una de las cinco calificaciones que se muestran en la Tabla 5-108.

**Tabla 5-108. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA-IDEAM.**

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	<b>Rojo</b>
0,26 – 0,50	Mala	<b>Naranja</b>
0,51 – 0,70	Regular	<b>Amarillo</b>
0,71 – 0,90	Aceptable	<b>Verde</b>
0,91 – 1,00	Buena	<b>Azul</b>

Fuente: IDEAM, 2011

#### 5.1.7.3.3 Resultados de la evaluación de los ICO'S e ICA

En la Tabla 5-109 y Tabla 5-110 se presentan los resultados obtenidos para los puntos monitoreados en las tres campañas. Los resultados indican que la contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se mantuvo muy baja en todos los casos, así mismo el ICOTRO arrojó un estado eutrófico para todos los casos. En cuanto a la contaminación por mineralización, fue media en E1 campaña 1 y alta en E2 campaña 1; en las campañas 2 y 3 todos los puntos presentaron contaminación muy alta. La contaminación por materia orgánica (ICOMO) osciló entre baja y muy baja en las tres campañas.

Con respecto al índice de calidad de agua se obtuvo una calidad aceptable en la campaña 1 para los dos puntos; en la campaña 2 fue mala en E1 y aceptable en E2, exhibiendo una mejora este tramo durante esta temporada y finalmente, en la campaña 3, en E3a y E4 se obtuvo una calidad regular.

**Tabla 5-109. Resultados índices de contaminación.**

Estación- Campaña	ICOMI		ICOMO		ICOSUS		ICOTRO	
	Valor	Contaminación	Valor	Contaminación	Valor	Contaminación	Valor	Estado trófico
E1-Campaña 1	0,49	Media	0,37	Baja	0,03	Muy baja	0,13	eutrófico
E2-Campaña 1	0,67	Alta	0,34	Baja	0,02	Muy baja	0,12	eutrófico
E1-Campaña 2	0,92	Muy alta	0,0	Muy baja	0	Muy baja	0,07	eutrófico
E2-Campaña 2	0,92	Muy alta	0,36	Baja	0,0	Muy baja	0,06	eutrófico
E3-Campaña 3	0,89	Muy alta	0,29	Baja	0,16	Muy baja	0,43	eutrófico
E4-Campaña 3	0,89	Muy alta	0,16	Muy baja	0,0	Muy baja	0,19	eutrófico

Fuente: SAG, 2023

**Tabla 5-110. Índice de calidad-IDEAM.**

Campaña	Estación	ICA	
		Valor	Contaminación
Campaña 1	E1	0,75	Aceptable
	E2	0,73	Aceptable
Campaña 2	E1	0,48	Mala
	E2	0,72	Aceptable
Campaña 3	E3a	0,66	Regular
	E4	0,70	Regular

Fuente: SAG, 2023

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

#### 5.1.7.3.4 Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua-IACAL

El índice de alteración potencial de la calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica  $j$  en un período de tiempo  $t$  y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica estimada a partir de una serie de tiempo<sup>126</sup>. Este indicador considera las cargas vertidas y la capacidad potencial de las fuentes hídricas para asimilar la carga contaminante vertida en función de la oferta total en las subzonas hidrográficas (SZH)<sup>127</sup>.

Su cálculo tiene en cuenta las estimaciones de cargas contaminantes de las siguientes variables DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales (SST), fósforo tota (PT) y Nitrógeno total (NT) que se pueden estar vertiendo a las corrientes superficiales de las 316 subzonas hidrográficas. Estas cargas son divididas por la oferta hídrica para año medio y año seco de cada una de las SZH<sup>128</sup>.

A continuación, se presentan las ecuaciones con las que se calcula el IACAL tanto para año medio como para año seco.

$$IACAL_{jt-año\ medio} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{catical}_{ijt-año\ medio}}{n} \quad IACAL_{jt-año\ seco} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{catical}_{ijt-año\ seco}}{n}$$

Donde:

$IACAL_{jt-año\ medio}$  y  $IACAL_{jt-año\ seco}$ : son el IACAL de una subzona hidrográfica  $j$  durante el periodo de tiempo  $t$ , evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio y seco, respectivamente.

$\text{catical}_{ijt-año\ medio}$  y  $\text{catical}_{ijt-año\ seco}$  son las categorías de clasificación de vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua, que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad  $i$ , que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica  $j$ , durante  $yt$  tiempo  $t$  dividido por la oferta hídrica propia de un año medio y seco, respectivamente.

$n$  es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador ( $n=5$ ).

Por otro lado, en la Tabla 5-111 se presentan los rangos de los valores alternativos que puede tomar el IACAL, la categoría de clasificación que se le asigna y la calificación del nivel de presión al que corresponde:

<sup>126</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2020). Hoja metodológica del Índice de alteración potencial de la calidad del agua (Versión 1,1). 16 p.

<sup>127</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. PP 466.

<sup>128</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2020). Hoja metodológica del Índice de alteración potencial de la calidad del agua (Versión 1,1). 16 p.



**Tabla 5-111. Escala de clasificación del IACAL.**

Rango IACAL	Categoría de clasificación	Calificación de la presión
$1,0 \leq \text{IACAL} \leq 1,5$	1	Baja
$1,5 \leq \text{IACAL} \leq 2,5$	2	Moderada
$2,5 \leq \text{IACAL} \leq 3,5$	3	Media alta
$3,5 \leq \text{IACAL} \leq 4,5$	4	Alta
$4,5 \leq \text{IACAL} \leq 5,0$	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2021

A continuación, se presenta el resultado de la estimación del IACAL para las corrientes superficiales monitoreadas. Es importante mencionar que la información presentada en la Tabla 5-112 se tomó del Estudio Nacional del Agua- ENA2022<sup>129</sup>, teniendo en cuenta las subzonas hidrográficas a las cuales pertenecen los sistemas lóticos monitoreados.

**Tabla 5-112. Resultados del Índice de alteración potencial de la calidad del agua- IACAL.**

Estación	Cuenca asociada	Subzona hidrográfica	IACAL año medio	IACAL año seco
E1	Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	Río Frío y otros Directos al Cauca (2617)	Alta	Alta
E2				
E3a	Directos al río Cauca	Directos Río Cauca entre Río San Juan y Pto Valdivia (md) (2620)	Media alta	Alta
E4	Quebrada La Ardita		Media alta	Alta

Fuente: IDEAM, 2021

Los resultados del IACAL sugieren que las corrientes analizadas registran una alta presión sobre la calidad del agua respecto a las cargas vertidas a esta y la capacidad potencial de las fuentes hídricas para asimilar la carga contaminante en función de la oferta total. No obstante, es importante aclarar que, tal y como se mencionó previamente, los resultados reportados corresponden a la estimación por subzona hidrográfica, que cubren un área superior al área de influencia abiótica, por lo que la evaluación del estado de la calidad de las aguas puede ser sobreestimado.

Finalmente se resalta que el análisis de la calidad del agua a partir de la correlación con los datos fisicoquímicos e hidrobiológicos se presenta en la Caracterización de ecosistemas acuáticos.

<sup>129</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. PP 466.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

### 5.1.8 Usos del Agua

La identificación de los usos del agua y usuarios del agua en el área de influencia se realizó, teniendo en cuenta los usos establecidos en el artículo 2.2.3.2.7.6 del Decreto 1076 de 2015, a partir de información obtenida del servidor de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-Corantioquia y la información disponible en el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)<sup>130</sup> y, en relación con las captaciones autorizadas y los caudales otorgados que se encuentran dentro de las cuencas de estudio.

Para la clasificación de los usos de agua, se tomó como referencia el artículo 2.2.3.3.2.1 del Decreto 1076 de 2015, el cual establece los siguientes usos del agua: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático y uso estético. En este mismo decreto, en los artículos del 2.2.3.3.2.2 al 2.2.3.3.2.10, se establecen las siguientes características para cada una de las categorías de usos del agua:

**“Uso humano y doméstico:** Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como: i) bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato; ii) satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y iii) preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

**Uso para la preservación de flora y fauna:** Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.

**Uso para pesca, maricultura y acuicultura:** Se entiende por uso para pesca, maricultura y acuicultura su utilización en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas,

**Uso agrícola:** Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

**Uso pecuario:** Se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.

**Uso recreativo:** Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce; i) Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales y ii) Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

**Uso Industrial:** Se entiende por uso industrial del agua, su utilización en actividades tales como: i) procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexas y complementarios; ii) generación de energía; iii) minería; iv) hidrocarburos; v) fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos

<sup>130</sup> Sistema de Información del Recurso Hídrico. Disponible en: <http://sirh.ideam.gov.co/Sirh/pages/inicio.html>.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 4      2024-08-08

similares; y vi) elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.

**Navegación y transporte acuático:** Se entiende por uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo.

**Uso estético:** Se entenderá por uso estético el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.”<sup>131</sup>

A continuación, se presenta el inventario de usuarios y los usos del agua dentro de las cuencas objeto de estudio.

#### 5.1.8.1 Inventario de usuarios del agua

En la Tabla 5-113 y [Figura 5-98](#) se muestran los usuarios del agua identificados dentro de las cuencas objeto de estudio. En total se tienen 91 usuarios y 45,605 l/s concesionados.

---

<sup>131</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario oficial. Bogotá 2015.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

**Tabla 5-113. Inventario de usuarios del recurso hídrico para las cuencas objeto de estudio.**

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-336	2016-336	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,265	1370	4703067,93	2206384,41
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-267	2017-267	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,248	1435	4704514,5	2206756,59
Antioquia	Fredonia	CA1-2021-196	2021-196	Quebrada Los Gallinazos	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,172	1353	4703509,65	2205740,63
Antioquia	Jericó	CA1-2016-307	2016-307	Quebrada Las Palmeras	Usos industriales o manufactureros	2,03	583	4702316	2201689,3
Antioquia	Fredonia	CA1-2018-891	2018-891	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,08	1331	4701987,48	2207137,42
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-1094	2017-1094	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,286	1359	4703051,91	2206375,44
Antioquia	Jericó	CA1-2016-168	2016-168	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,213	1006	4699582,14	2198480,8
Antioquia	Fredonia	CA1-2019-422	2019-422	Quebrada Emilio Ruda	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,345	1553	4703619,04	2207509,24
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-330	2016-330	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,032	1111	4702556,05	2205381,49
Antioquia	Jericó	CA1-2016-168	2016-168	Quebrada Las Palmeras	-Utilización para necesidades domésticas individuales	0,16	807	4701172,58	2200364,61
					-Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca				



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



Rev. No.: 2024-08-08  
4

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-1108	2017-1108	Afluente sin nombre	Utilización para necesidades domésticas individuales	1,593	790	4702151,02	2204302,37
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-250	2016-250	Quebrada Tuntuna	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,601	1389	4702700,51	2206670,09
Antioquia	Fredonia	CA1-2009-38	2009-38	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,038	1480	4704794,46	2205713,16
Antioquia	Fredonia	CA1-2013-47	2013-47	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,181	735	4701008,06	2204270,57
Antioquia	Fredonia	CA1-2022-378	2022-378	Afluente sin nombre	Utilización para necesidades domésticas individuales	0,19	1337	4703021,64	2205907,61
Antioquia	Fredonia	CA1-2010-61	2010-61	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,287	1353	4703336,26	2206050,93
Antioquia	Fredonia	CA1-2009-38	2009-38	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,038	1470	4704638,31	2205625,47
Antioquia	Fredonia	CA1-2021-278	2021-278	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,038	1570	4702955,54	2207214,55
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-1189	2017-1189	Afluente sin nombre	Utilización para necesidades domésticas individuales	0,019	1340	4703054,11	2205957,48
Antioquia	Fredonia	CA1-2018-651	2018-651	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,026	1210	4703563,2	2204989,6
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-66	2016-66	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,534	1943	4704679,46	2206225,33
Antioquia	Jericó	CA1-2016-300	2016-300	Quebrada Dos Quebradas	Usos industriales o manufactureros	1,013	585	4701504	2202173,81

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	CA1-2008-104	2008-104	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,13	1510	4704385,25	2206620,85
Antioquia	Jericó	CA1-2019-934	2019-934	Quebrada Las Palmeras	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,083	715	4701533,37	2200795,88
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-346	2016-346	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,283	1112	4702527,84	2205271,56
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-154	2015-154	Afluente sin nombre	Utilización para necesidades domésticas individuales	0,009	1250	4702850,89	2206352,83
Antioquia	Jericó	CA1-2016-168	2016-168	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,213	1813	4699103,21	2197972,76
Antioquia	Fredonia	CA1-2007-97	2007-97	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,034	1560	4706098,45	2209410,26
Antioquia	Fredonia	CA1-2007-42	2007-42	Quebrada Los Gallinazos	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,003	1458	4703916,27	2206085,81
Antioquia	Fredonia	CA1-2013-91	2013-91	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,212	768	4708021,23	2200547,54
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-107	2015-107	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,115	1241	4705652,23	2207196,36
Antioquia	Fredonia	CA1-2008-150	2008-150	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,027	1370	4703867,99	2205417,97
Antioquia	Fredonia	CA1-2013-91	2013-91	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,212	700	4707304,24	2200510,91

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	CA1-2001-395	2001-395	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,06	1940	4704909,52	2207828,72
Antioquia	Fredonia	CA1-2007-83	2007-83	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,233	1305	4705683,75	2206950,32
Antioquia	Jericó	CA1-2014-143	2014-143	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,027	2005	4699005,25	2197457,99
Antioquia	Fredonia	CA1-2013-91	2013-91	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,212	778	4707512,29	2201071,45
Antioquia	Jericó	CA1-2021-628	2021-628	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,76	1960	4698594,67	2197831,03
Antioquia	Jericó	CA1-2018-152	2018-152	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,125	1860	4701548,23	2201247,81
Antioquia	Fredonia	CA1-2010-57	2010-57	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,12	1345	4702251,18	2206991,93
Antioquia	Jericó	CA1-2019-934	2019-934	Quebrada Las Palmeras	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,083	771	4701207,61	2200380,54
Antioquia	Fredonia	CA1-2021-196	2021-196	Quebrada Los Gallinazos	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,172	1213	4703194,24	2205512,25
Antioquia	Fredonia	CA1-2018-891	2018-891	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,08	1344	4702168,25	2207026,08
Antioquia	Jericó	CA1-2016-128	2016-128	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,032	2005	4699510,4	2197560,02

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Jericó	CA1-2016-168	2016-168	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,213	1049	4700408,69	2198811,2
Antioquia	Fredonia	CA1-2018-76	2018-76	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,338	1330	4703029,05	2205928,53
Antioquia	Fredonia	CA1-2008-60	2008-60	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,035	1623	4704688,86	2206954,24
Antioquia	Fredonia	CA1-2001-475	2001-475	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,818	980	4707135,5	2204296,82
Antioquia	Fredonia	CA1-2010-21	2010-21	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,134	1365	4702113,34	2207072,18
Antioquia	Jericó	CA1-2015-99	2015-99	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,039	2010	4698798,15	2197399,39
Antioquia	Fredonia	CA1-2010-78	2010-78	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,078	1350	4704514,6	2205245,75
Antioquia	Fredonia	CA1-2019-422	2019-422	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,345	1608	4703413,88	2207414,65
Antioquia	Fredonia	CA1-2001-475	2001-475	Quebrada La Rosala	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,818	1250	4706638,41	2208899,27
Antioquia	Fredonia	CA1-2010-131	2010-131	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,028	1815	4704633,02	2207031,34
Antioquia	Jericó	CA1-2019-292	2019-292	Afluente sin nombre	Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca	0,1	2013	4698805,16	2197404,37



 <p><b>ISAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</p>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <p><b>isa</b> INTERCOLOMBIA</p>	
		Rev. No.:	2024-08-08
		4	08

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	NOLEGAL13003-207	13003-207	Afluente sin nombre	Sin Información	0,6	790	4702094,59	2204228,6
Antioquia	Fredonia	NOLEGAL13003-343	13003-343	Quebrada Tuntuna	Sin Información	0,079	890	4701921,09	2204852,76
Antioquia	Fredonia	NOLEGAL13003-367	13003-367	Afluente sin nombre	Sin Información	0,61	1155	4703509,13	2204952,71
Antioquia	Fredonia	CA1-2012-74	2012-74	Quebrada Los Ruiz	Sin Información	0,307	716	4700638,7	2204587,25
Antioquia	Fredonia	CA1-2013-40	2013-40	Afluente sin nombre	Sin Información	0,073	1253	4703455,76	2205796,72
Antioquia	Fredonia	CA1-2014-61	2014-61	Afluente sin nombre	Sin Información	0,083	1108	4702416,71	2205719,73
Antioquia	Fredonia	CA1-2014-61	2014-61	Afluente sin nombre	Sin Información	0,083	1228	4702611,66	2205700,36
Antioquia	Fredonia	CA1-2014-61	2014-61	Afluente sin nombre	Sin Información	0,083	1455	4702927,37	2207127,61
Antioquia	Fredonia	CA1-2014-67	2014-67	Afluente sin nombre	Sin Información	9,711	1150	4703838,73	2206318,94
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-47	2015-47	Afluente sin nombre	Sin Información	0,176	1531	4706146,81	2209081,2
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-47	2015-47	Quebrada La Rosala	Sin Información	0,176	1376	4706703	2208172,23
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-133	2015-133	Afluente sin nombre	Sin Información	0,082	1030	4703635,05	2204394,52
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-133	2015-133	Afluente sin nombre	Sin Información	0,082	1156	4704671,85	2204863,48
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-135	2015-135	Afluente sin nombre	Sin Información	0,036	949	4704984,41	2204129,96
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-135	2015-135	Afluente sin nombre	Sin Información	0,036	873	4705374,76	2203815,24
Antioquia	Fredonia	CA1-2015-179	2015-179	Afluente sin nombre	Sin Información	0,023	1438	4702227,03	2207433,93

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

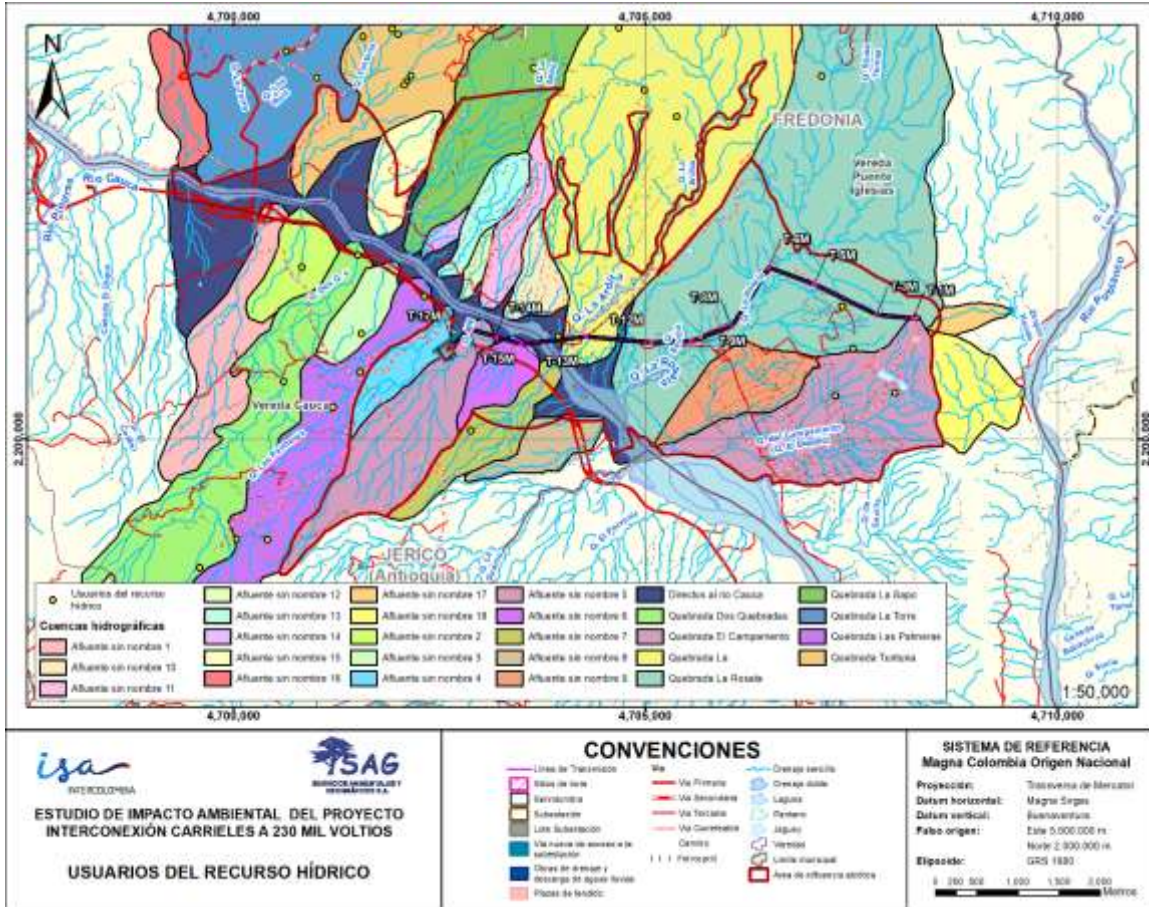
Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-328	2016-328	Quebrada La Torre	Sin Información	0,026	1277	4701767,43	2207001,39
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-328	2016-328	Quebrada La Torre	Sin Información	0,026	1352	4701936,3	2207371,03
Antioquia	Fredonia	CA1-2016-328	2016-328	Afluente sin nombre	Sin Información	0,026	1343	4702228,95	2206990,87
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-513	2017-513	Afluente sin nombre	Sin Información	3,099	910	4701566,78	2204760,12
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-633	2017-633	Afluente sin nombre	Sin Información	0,396	890	4702996,42	2206117,58
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-963	2017-963	Afluente sin nombre	Sin Información	0,018	1354	4704063,88	2205372,6
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-963	2017-963	Afluente sin nombre	Sin Información	0,018	1449	4704104,81	2205856,47
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-963	2017-963	Afluente sin nombre	Sin Información	0,018	1404	4704243,17	2205529,24
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-963	2017-963	Afluente sin nombre	Sin Información	0,018	1479	4704252,93	2205924,18
Antioquia	Fredonia	CA1-2017-963	2017-963	Afluente sin nombre	Sin Información	0,018	1499	4704414,07	2206005,86
Antioquia	Fredonia	CARGA-2021-298	2021-298	Afluente sin nombre	Sin Información	0,014	1362	4702585,6	2205903,25
Antioquia	Fredonia	CA1-2022-62	2022-62	Quebrada Los Gallinazos	Sin Información	14,272	890	4701995,97	2204791,62
Antioquia	Fredonia	CA1-2022-254	2022-254	Afluente sin nombre	Sin Información	0,336	735	4702067,81	2204190,54
Antioquia	Jericó	CA1-2023-207	2023-207	Afluente sin nombre	Sin Información	0,042	1021	4700033,74	2198818,92
Antioquia	Jericó	CA1-2022-174	2022-174	Afluente sin nombre	Sin Información	0,065	651	4700825,8	2202033,12
Antioquia	Jericó	CARGA-2022-820	2022-820	Afluente sin nombre	Sin Información	0,043	2050	4699459,31	2197510,12

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08- 08

Departamento	Municipio	Expediente	ID usuario	Nombre de la corriente	Usos del agua	Caudal concedido (l/s)	Cota (m.s.n.m)	Coordenadas: Magna Sirgas Origen Nacional	
								Este	Norte
Antioquia	Jericó	CA1-2009-45	2009-45	Quebrada Dos Quebradas	-Utilización para necesidades domésticas individuales	0,28	812	4700605	2200679
					-Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca				
					-Usos recreativos individuales				
Antioquia	Jericó	CA1-2011-116	2011-116	Afluente sin nombre	Sin Información	0,09	729	4702879	2200104
Antioquia	Fredonia	PC1	PC1	Afluente sin nombre	Sin Información	0	599	4703934,8	2201216,4
Antioquia	Fredonia	PC2	PC2	Afluente sin nombre	Sin Información	0	783	4707385,96	2201569,25
<b>Total</b>						<b>45,605</b>			

*\*Usos del agua según el dominio U\_APROV de la GDB.*

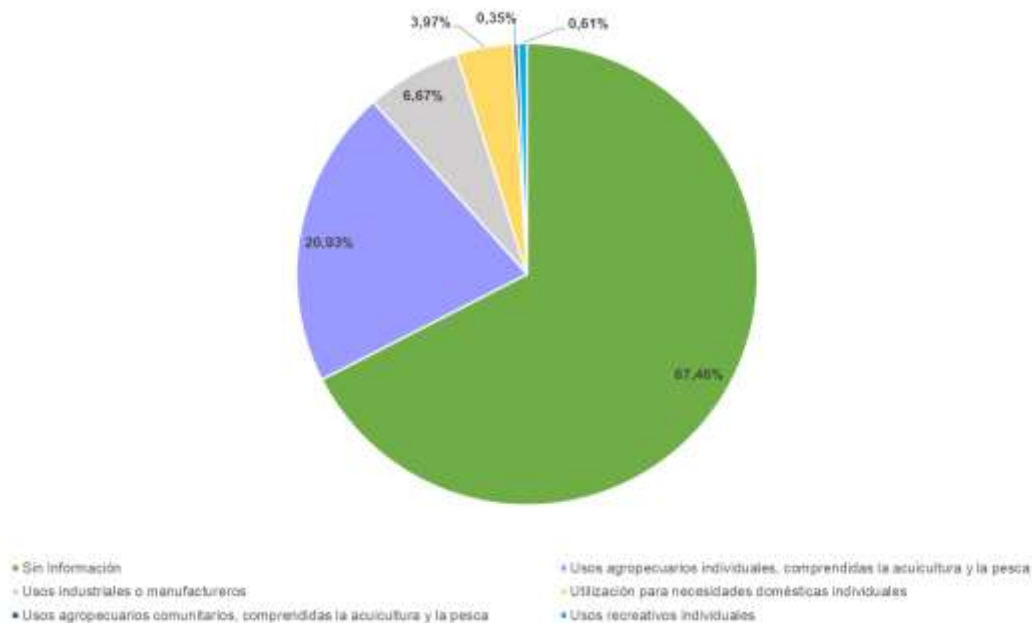
*Fuente: SAG, 2024 a partir de información de Corantioquia (s.f.)*



**Figura 5-98. Localización de los usuarios del agua en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

Adicionalmente, se obtuvieron los porcentajes del total de usos del agua en las cuencas objeto de estudio. El 67,46 % del agua no tiene un uso establecido en las bases de datos cartográficas de Corantioquia, por su parte el 21,28 % se usa para actividades agropecuarias incluida la acuicultura y pesca, tanto individual como comunitarias, el 6,67 % se destina para el uso industrial, el 3,97 % para uso doméstico y el 0,61 % restante para uso recreativo, tal y como se presenta en la Figura 5-99.



**Figura 5-99. Porcentaje de usos del agua en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

Por otro lado, es importante mencionar que, de acuerdo con las características del proyecto, no se contempla el aprovechamiento del recurso hídrico en relación con concesiones de agua y/o permisos de vertimientos. El agua necesaria para el desarrollo de las actividades propias de la fase de construcción será comprada a terceros autorizados, mientras que en la fase de operación se prevé el uso de aguas de lluvia para el abastecimiento de la Subestación Carrieles y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas compuestos por trampas de grasas, tanques sépticos y filtro anaeróbico.

### 5.1.8.2 Indicadores de riesgo por intervención antrópica

#### 5.1.8.2.1 Índice de Uso del Agua-IUA

El índice de uso del agua (IUA) es el valor numérico que, en una de seis categorías, califica la relación entre la demanda hídrica multisectorial en una subzona hidrográfica en un periodo de tiempo, y la oferta hídrica superficial disponible para ese mismo periodo<sup>132</sup>. Este indicador refleja la capacidad que tienen las subzonas hidrográficas para sostener volúmenes de agua extraídos sin importar si este volumen retorna total o parcialmente. La siguiente ecuación representa la forma en cómo se calcula el IUA.

<sup>132</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.

$$IUA_j = \frac{DHMN_j}{OHDS_j} * 100$$

Donde

$IUA_j$ : índice del uso del agua en la unidad espacial de referencia  $j$  para condición hidrológica promedio o de año seco (%)

$DHMN_j$ : demanda hídrica multisectorial nacional en la unidad espacial de referencia  $j$  (Mm<sup>3</sup>/año)

$OHDS_j$ : oferta hídrica disponible superficial en la unidad espacial de referencia  $j$  para condición hidrológica promedio o de año seco (Mm<sup>3</sup>/año)

En la Tabla 5-114 se muestran los rangos de evaluación y las categorías en las que puede ser clasificado el IUA.

**Tabla 5-114. Categorías del IUA.**

IUA	Categoría
IUA < 1	Muy bajo
1 < IUA < 10	Bajo
10 < IUA < 20	Moderado
20 < IUA < 50	Alto
50 < IUA < 100	Muy alto
IUA > 100	Crítico

Fuente: IDEAM, 2023

Para determinar el IUA en cada una de las cuencas se tuvo en cuenta la demanda hídrica estimada a partir de la información de usuarios del agua identificados previamente. Se resalta que, en los casos donde las cuencas no registren demanda de agua, se asumió el valor de IUA como el reportado en el Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. En la Tabla 5-115 y [Figura 5-100](#) se muestran los resultados de la estimación del IUA para cada una de las cuencas estudiadas.

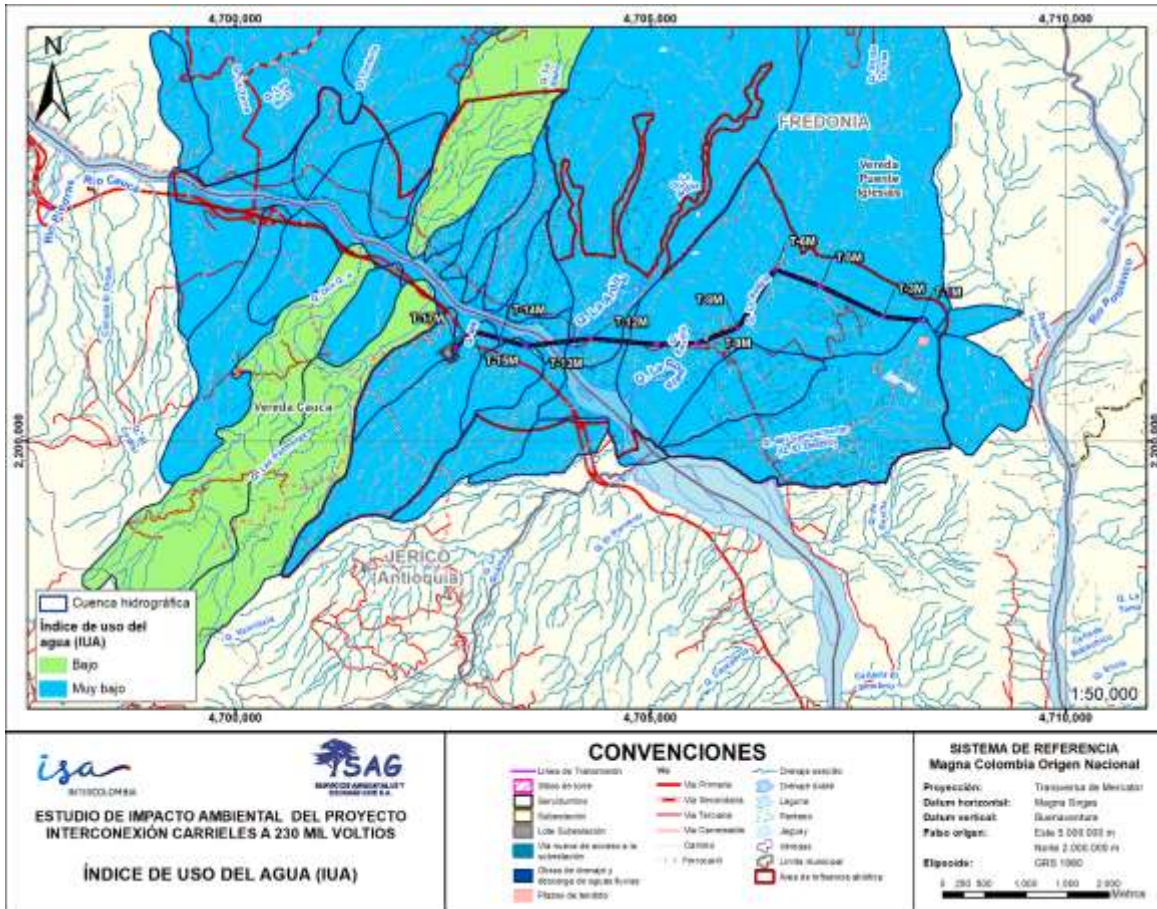
En general, las cuencas presentan bajas presiones en términos de demanda de agua, por lo que la oferta hídrica disponible se considera suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios.

**Tabla 5-115. Índice de Uso del Agua para las cuencas objeto de estudio.**

Cuenca	Oferta hídrica disponible (L/s)	Demanda hídrica (L/s)	IUA (%)	Categoría del IUA
Afluente sin nombre 1	42,7	-	0,10*	Muy bajo
Afluente sin nombre 2	18,2	0,07	0,36	Muy bajo
Quebrada Dos Quebradas	102,4	2,27	2,21	Bajo
Afluente sin nombre 3	13,8	0,13	0,91	Muy bajo
Quebrada Las Palmeras	94,7	3,07	3,24	Bajo
Afluente sin nombre 4	13,8	-	0,10*	Muy bajo
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	47,5	-	0,10*	Muy bajo
Afluente sin nombre 6	11,3	-	0,10*	Muy bajo
Afluente sin nombre 7	19,5	0,09	0,46	Muy bajo
Afluente sin nombre 8	11,6	-	0,10*	Muy bajo
Quebrada el Campamento	50,4	0,42	0,84	Muy bajo
Afluente sin nombre 9	17,7	-	0,00*	Muy bajo
Quebrada La Rosala	301,4	2,23	0,74	Muy bajo
Quebrada La Ardita	405,2	1,25	0,31	Muy bajo
Afluente sin nombre 10	10,4	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 11	14,4	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 12	3,3	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 13	12,6	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 14	2,9	-	0,00*	Muy bajo
Quebrada La Sapo	73,4	0,78	1,06	Bajo
Afluente sin nombre 15	17,9	-	0,00*	Muy bajo
Quebrada La Tuntuna	205,7	-	0,00*	Muy bajo
Quebrada La Torre	233,5	0,92	0,40	Muy bajo
Afluente sin nombre 16	16,3	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 17	3,8	-	0,00*	Muy bajo
Afluente sin nombre 18	16,5	-	0,00*	Muy bajo
Directos al río Cauca	96,9	-	0,00*	Muy bajo

\*IUA reportado en el ENA 2022

Fuente. SAG, 2023



**Figura 5-100. Índice de Uso del agua en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.8.2.2 Índice de Vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento-IVH

El índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH) relaciona de forma cualitativa los resultados del índice del uso del agua (IUA) y el índice de retención y regulación hídrica (IRH), de forma que representa la fragilidad que tienen los sistemas hídricos superficiales de mantener la oferta de agua dadas sus condiciones de uso y regulación; y de esta manera identifica la vulnerabilidad en el abastecimiento de agua que presentan los sectores usuarios del recurso<sup>133</sup>.

<sup>133</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.



Es importante resaltar que, entre más alto es el uso del agua y menor la capacidad de regulación, la vulnerabilidad por desabastecimiento aumenta. Este índice es evaluado tanto para condiciones hidrológicas de año medio como de año seco.

El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA). Las categorías de este índice se presentan en la Tabla 5-116.

**Tabla 5-116. Matriz Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).**

VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO RELACIÓN IRH – IUA					
ÍNDICE DE USO DEL AGUA (IUA)		ÍNDICE DE REGULACIÓN (IRH)			
Rango	Categoría	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
<1	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
1-10	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
10-20	Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
20-50	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
50-100	Muy Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
>100	Crítico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: IDEAM, 2018.

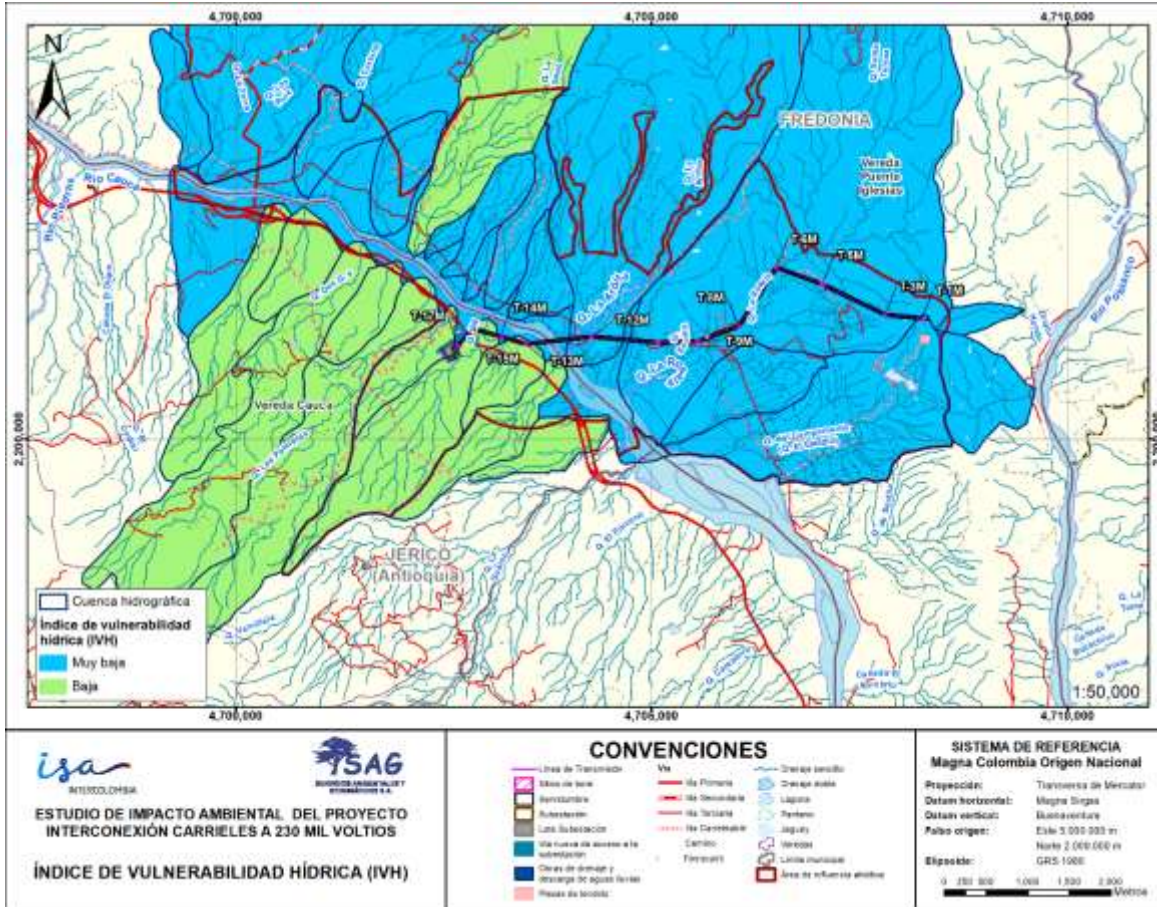
En la Tabla 5-117 y Figura 5-101 se muestran los resultados del IVH para cada una de las cuencas estudiadas. Se evidencia que, en general, ninguna de las cuencas presenta vulnerabilidad ante el desabastecimiento de agua, lo que concuerda a su vez con los bajos valores obtenidos para el IUA.

**Tabla 5-117. Resultados del IVH para cada una de las cuencas objeto de estudio.**

Cuenca	Categoría IUA	Categoría IRH	IVH
Afluente sin nombre 1	Muy bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 2	Muy bajo	Moderada	Baja
Quebrada Dos Quebradas	Bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 3	Muy bajo	Moderada	Baja
Quebrada Las Palmeras	Bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 4	Muy bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 5 (Quebrada NN)	Muy bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 6	Muy bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 7	Muy bajo	Moderada	Baja
Afluente sin nombre 8	Muy bajo	Moderada	Baja
Quebrada El Campamento	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 9	Muy bajo	Alta	Muy baja
Quebrada La Rosala	Muy bajo	Alta	Muy baja

<b>Cuenca</b>	<b>Categoría IUA</b>	<b>Categoría IRH</b>	<b>IVH</b>
Quebrada La Ardita	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 10	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 11	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 12	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 13	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 14	Muy bajo	Alta	Muy baja
Quebrada La Sapo	Bajo	Alta	Baja
Afluente sin nombre 15	Muy bajo	Alta	Muy baja
Quebrada Tuntuna	Muy bajo	Alta	Muy baja
Quebrada La Torre	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 16	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 17	Muy bajo	Alta	Muy baja
Afluente sin nombre 18	Muy bajo	Alta	Muy baja
Directos al río Cauca	Muy bajo	Alta	Muy baja

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-101. Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento en las cuencas objeto de estudio.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9 Hidrogeología

El análisis hidrogeológico para el área de influencia del medio abiótico se basó en información secundaria existente de la zona de estudio y trabajo de campo, para verificar la información obtenida y la obtenida con fotointerpretación. Dicha información secundaria se menciona a continuación:

- Cartografía geológica y geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), a escala 1:100.000.
- Mapas de suelo de los municipios Fredonia y Jericó a escala 1:100.000.

- Imagen satelital ImaSatDet11012022, obtenida del satélite Pléiades-1 (P1), de fecha 01 de noviembre de 2022, con resolución 50 cm.
- Imagen del satélite Sentinel 2B L1C de 10 m de resolución en el visible, con fecha agosto de 2021, de libre acceso en la plataforma Copernicus Open Access Hub, la cual se utilizó para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mediante el uso de las bandas 4 (Rojo visible –R-) y 8A (Infrarrojo cercano -NIR-), que constituye un insumo para el cálculo del potencial de recarga en el área de influencia del medio abiótico.
- Digital Elevation Model (DEM) del satélite Alos Palsar de 12,5 m de resolución, de libre acceso en la plataforma ASF Data Search Vertex de EarthData.

Adicionalmente, se consultaron otros documentos que se referencian a lo largo del presente numeral.

De acuerdo con la actualización del estado del recurso hídrico en Antioquia<sup>134</sup>, regionalmente el área de influencia del medio abiótico se localiza en la provincia hidrogeológica Montañas e Intramontañas (PM), específicamente en la sub-provincia denominada Otros Sistemas Acuíferos en Región Cordillera Occidental – Central (PM6), en las cercanías del sistema acuífero La Pintada - Valparaíso, este último fue estudiado con detalle por CORANTIOQUIA y SHI (2014)<sup>135</sup>, y a partir del cual se extrajo información específica que se presenta en la Tabla 5-118. Por otra parte, en la Figura 5-102 se presentan los sistemas acuíferos de Colombia de acuerdo al Estudio Nacional del Agua<sup>136</sup>.

**Tabla 5-118. Descripción del sistema acuífero más cercano al área de influencia del medio abiótico.**

Provincias hidrogeológicas	Sistemas acuíferos	Descripción general
<b>PM6 – Otros sistemas acuíferos en región Cordillera Occidental – Central</b>	<b>Sistema acuífero La Pintada-Valparaíso</b>	<p>Está conformado por seis (6) unidades hidrogeológicas diferenciadas por la litología, geomorfología y puntos de agua. A continuación, se realiza una breve descripción de las características más relevantes de cada una.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad hidrogeológica I - Formación Amagá (UHI): compuesta por areniscas de grano medio con cementantes arcillosos, ferruginosos y calcáreos. Las conductividades eléctricas varían entre 100 y 500 (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) y los SDT entre 100 y 300 (<math>\text{mg}/\text{l}</math>).</li> </ul>

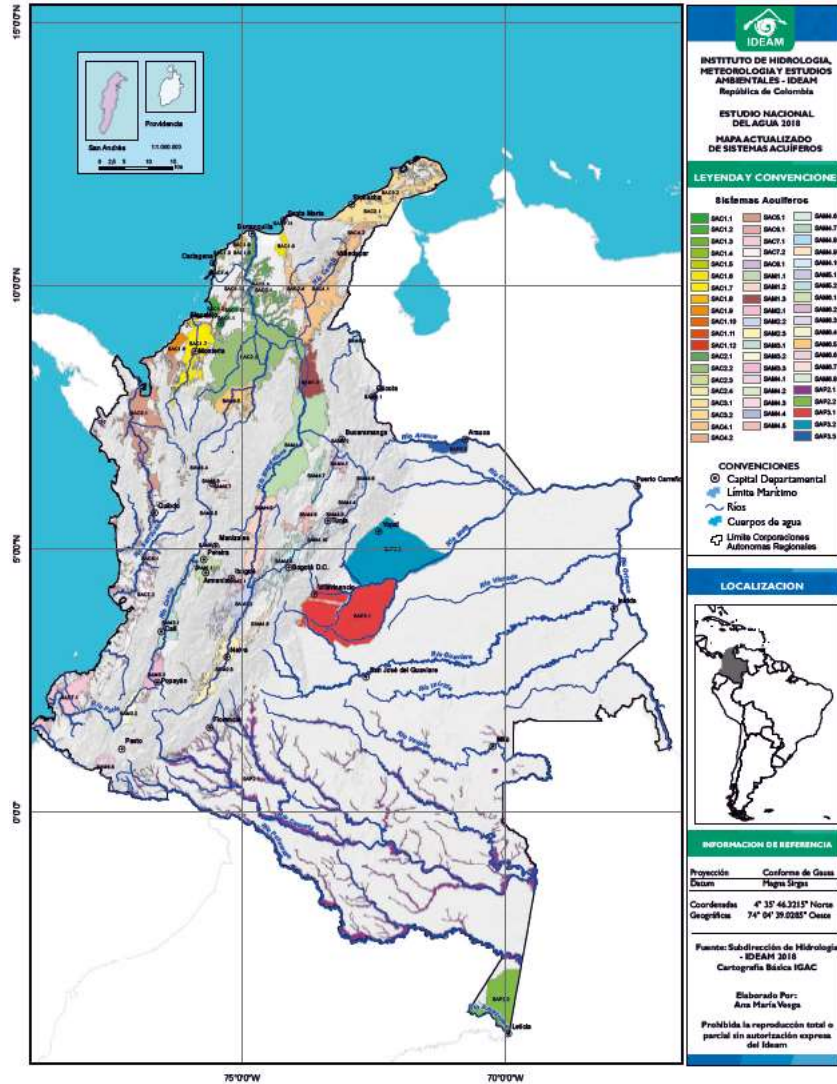
<sup>134</sup> GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Actualización y monitoreo del estado del recurso hídrico. Medellín, 2018. p. 222.

<sup>135</sup> CORANTIOQUIA Y SHI. Evaluación hidrogeológica en los municipios de la Pintada y Valparaíso Jurisdicción de la Dirección Territorial Cártama de Corantioquia. Medellín, 2014. p. 171-302.

<sup>136</sup> IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá. 2018

Provincias hidrogeológicas	Sistemas acuíferos	Descripción general
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad hidrogeológica II - Formación Combia La Pintada (UHII): en el sector de La Pintada predomina el miembro volcánico con intercalaciones de basaltos, aglomerados, areniscas tobáceas y conglomerados hacia la base. En general, las conductividades eléctricas oscilan entre 120 y 330 (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>), indicando que el agua se infiltra y recarga el macizo, pero ésta permanece en él por un tiempo hasta que es conducida a la UHGI de manera lenta.</li> <li>• Unidad hidrogeológica III - Formación Combia Valparaíso (UHIII): en esta zona predomina el miembro sedimentario que se compone predominantemente de areniscas de grano fino y lodolitas fracturadas; adicionalmente, se presentan algunos afloramientos de basaltos. Debido a lo anterior, en el estudio se infirió que la permeabilidad en el área es baja. Las conductividades eléctricas oscilan entre 391-251 (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) y los SDT entre 143-125 (mg/l).</li> <li>• Unidad hidrogeológica IV - Rocas hipoabisales (UHIV): compuesta principalmente por andesitas porfiríticas, las cuales podrían actuar como zona de recarga, especialmente, en las partes altas debido a la elevada densidad de fracturamiento. La conductividad eléctrica es de 13 (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) y los SDT 406 (mg/l).</li> <li>• Unidad hidrogeológica V - Stock de Támesis (UHV): compuesto principalmente por dioritas. Tanto las conductividades eléctricas como los SDT, en general, arrojaron valores en todos los rangos. En el estudio se menciona que <i>“esta unidad funciona como una zona de recarga donde el agua se infiltra y fluye rápidamente hacia zonas de descarga”</i>.</li> <li>• Unidad hidrogeológica VI - Depósitos cuaternarios (UHVI): incluye terrazas y llanuras de inundación de los ríos Cauca, Arma, Poblano y Cartama. Específicamente, en los depósitos del río Cauca se encontraron conductividades entre 90 y 400 (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) y SDT entre 100 y 200 (mg/l). Esta unidad fue caracterizada como un acuífero debido a su capacidad de almacenar y transmitir.</li> </ul>

Fuente: CORANTIOQUIA y SHI, 2014



**Figura 5-102. Sistema de acuíferos de Colombia.**

Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2018

### 5.1.9.1 Unidades hidrogeológicas

Para definir las unidades hidrogeológicas del área de influencia del medio abiótico se tuvo en cuenta la Leyenda Estándar definida en la Guía Metodológica para la Formulación de Proyectos de Protección de Aguas Subterráneas (ver Tabla 5-119)<sup>137</sup>.

<sup>137</sup> MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, IDEAM, E INGEOMINAS. Formulación de proyectos de protección integrada de aguas subterráneas. Bogotá, D.C., 2002. p. 41-42.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-119. Clasificación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH)**

Unidad Hidrogeológica	Características Hidrogeológicas	Capacidad específica promedio (l/s/m)
<b>A</b>	Sedimentos o rocas con porosidad primaria (Flujo intergranular)	
<b>A1</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano.	Mayor a 5,0
<b>A2</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano.	Entre 2,0 y 5,0
<b>A3</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciofluvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos generalmente confinados. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano.	Entre 1,0 y 2,0
<b>A4</b>	Acuitardos o acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias, poco consolidadas. Estos acuitardos o acuíferos pueden ser libres o confinados. Contienen aguas de regular calidad química para consumo humano.	Entre 0,05 y 1,0
<b>B</b>	Rocas con porosidad secundaria (Flujo a través de fracturas)	
<b>B1</b>	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas, en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación.	Mayor a 5,0
<b>B2</b>	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas	Entre 2,0 y 5,0

Unidad Hidrogeológica	Características Hidrogeológicas	Capacidad específica promedio (l/s/m)
	y sedimentarias bien consolidadas, en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación.	
<b>B3</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas, en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación.	Entre 1,0 y 2,0
<b>B4</b>	Acuitardos o acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas, en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación.	Entre 0,05 y 1,0
<b>C</b>	Rocas o sedimentos con limitado o ningún recurso de agua subterránea	
<b>C1</b>	Rocas sedimentarias muy consolidadas o sedimentos arcillosos con muy baja productividad.	Entre 0,05 y 1,0
<b>C2</b>	Rocas ígneas y metamórficas con muy baja o ninguna productividad.	Menor a 0,05

Fuente: SAG, 2024 con información de Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM e Ingeominas, 2002

Con base en la información de la Tabla 5-119, se realizó la definición de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia del medio abiótico en función de las características litológicas, geomorfológicas e hidráulicas de las unidades geológicas del AI, las cuales representan la base para definir las unidades hidrogeológicas.

Entonces, corresponde a acuíferos libres a semiconfinados de muy alta productividad; presentan porosidad primaria, son continuos y de extensión regional. En el área de influencia del medio abiótico está representada por la unidad geológica Aluviones Recientes (Qal), la cual corresponde a los depósitos de terrazas y llanuras de inundación del río Cauca.

De acuerdo con los estudios geofísicos, fisicoquímicos e hidráulicos realizados por CORANTIOQUIA y SHI, 2014<sup>138</sup>, los depósitos asociados al río Cauca, en el municipio de La Pintada, presentan las siguientes características:

<sup>138</sup> CORANTIOQUIA Y SHI, op. cit., p. 301.



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Registros de agua que oscilan entre los 32 y 43 m en la margen derecha y a una profundidad promedio de 30 m en la margen izquierda.
- Conductividades eléctricas entre 90 y 400 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y SDT entre 100 y 200 (mg/l), ocasionalmente, se presentan valores anómalos, los cuales podrían estar asociados a la interacción de las aguas contaminadas del río Cauca con las aguas del acuífero.
- Transmisividad que varía entre 6,72 a 292  $\text{m}^2/\text{d}$ , permeabilidad entre 0,48 y 3,62  $\text{m}/\text{d}$  y coeficiente de almacenamiento que oscila entre  $3,90 \times 10^{-6}$  a  $2,25 \times 10^{-4}$ ; valores estimados a través del método Cooper – Bredehoeft – Papadopulus.

De acuerdo con lo anterior y considerando las características y continuidad de los depósitos aluviales del río Cauca, se puede inferir que en el área de influencia del medio abiótico estos depósitos son similares; es decir, que en la zona podrían existir acuíferos libres y también acuíferos semiconfinados, lo cual se deduce de los resultados obtenidos de las tomografías y los bajos valores en los coeficientes de almacenamiento hechos por CORANTIOQUIA Y SHI. De esta manera, las unidades hidrogeológicas presentes en el AI abiótica son:

#### 5.1.9.1.1 Unidad hidrogeológica A1 (UH-A1)

Esta unidad de alta productividad, está representada por los Aluviones Recientes, los cuales se encuentran conformados por bloques de roca de hasta 60 cm de diámetro, embebidos en una matriz arenosa. Pueden formar acuíferos locales con porosidad primaria constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y, en menor proporción, arcillas.

#### 5.1.9.1.2 Unidad hidrogeológica A4 (UH-A4)

Esta unidad de baja productividad, está representada por los depósitos aluviales de la quebrada La Tuntuna localizada al oeste del área de influencia del medio abiótico y dos quebradas que desembocan en la quebrada La Arditá. Pueden formar acuíferos locales con porosidad primaria, de bajo espesor (probablemente de 5 m) y de baja productividad; en general, están constituidos por bloques, gravas, arenas y limos.

#### 5.1.9.1.3 Unidad hidrogeológica B4 (UH-B4)

Esta unidad de baja productividad está representada por las Formaciones geológicas Combia y Amagá (Miembro Superior), ambas localizadas al norte del área de influencia del medio abiótico. Sus características se describen a continuación:

- Formación Combia: de acuerdo con un estudio llevado a cabo por BERRÍO et al., (2004)<sup>139</sup>, en esta zona predomina el miembro volcánico-sedimentario; de manera informal, los autores lo subdividieron en tres (3) bloques, a saber:

<sup>139</sup> BERRÍO, JUAN; DÍAZ, MANUEL; VÉLEZ, MARÍA; CABALLERO, JOSÉ. Relación Lluvia-Aguas Subterráneas con los Movimientos en masa en el Municipio de Fredonia, Antioquia. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. 2004, nro. 16, p. 67-80.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Bloque superior: compuesto de aglomerados y areniscas conglomeráticas, brechas volcánicas y capas delgadas de tobas. Este bloque actúa como zona de recarga; en el estudio se afirma que podría tener porosidad primaria.
- Bloque medio: se compone de una secuencia de areniscas tobáceas, aglomerados y algunos estratos de arcillolitas, intruídos por diques basálticos. La circulación del agua no ocurre a través de los estratos permeables, sino por sistemas de diaclasas, fracturas y fisuras. Se destaca que, en algunas fracturas, los autores pudieron visualizar caudales, que en ocasiones eran por goteo y en otras eran flujos que podían alcanzar los 0,5 l/s.
- Bloque inferior: se compone de conglomerados conformados por cantos andesíticos; en zonas puntuales, presenta lentes de arenisca y arenisca conglomerática. En general, el porcentaje de fracturas es significativamente menor al bloque medio, por lo que actúa como una capa impermeable.
- Formación Amagá (Miembro Superior): con el objetivo de tener una aproximación a las características hidrogeológicas de esta formación, se retomó la información del estudio realizado por CORANTIOQUIA y SHI (2014)<sup>140</sup>.

De manera general, esta unidad está compuesta por areniscas de grano medio con cementantes arcillosos, ferruginosos y calcáreos. En el estudio mencionado, esta unidad se clasificó como un acuífero con porosidad secundaria; a continuación, se presentan las características más representativas de la misma:

- La permeabilidad se estimó de dos (2) maneras, la primera, considerando datos estructurales en campo donde se obtuvo un valor de  $1,97 \times 10^{-6}$  m/d y la segunda, a través del método de Cooper – Bredehoeft – Papadopulus donde se obtuvo un rango entre 0,21 a 0,32 m/d; adicionalmente, a través de este último método, se estimó una transmisividad variable entre 17,1 y 25,6 m/d y un coeficiente de almacenamiento que oscila entre  $2,96 \times 10^{-5}$  y  $5,06 \times 10^{-4}$ .
- Las conductividades eléctricas obtenidas varían entre 100 y 500 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), algunas zonas puntuales alcanzan valores de 800 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), esto último está asociado probablemente a la permanencia del agua por largo tiempo dentro del macizo rocoso, lo que facilita la interacción con los iones de las rocas desde su infiltración hasta su afloramiento en superficie; sin embargo, el estudio no descarta que los valores altos en conductividad puedan deberse al material cementante calcáreo de las areniscas y lodolitas de la Formación Amagá.
- Aunque en los sondeos realizados no se encontró agua a profundidades inferiores a 60 m, los autores no descartan la presencia de niveles de agua más cercanos a la superficie debido a la presencia de aljibes y nacimientos en el área.

<sup>140</sup> CORANTIOQUIA Y SHI, op. cit., p. 295.

Si bien el estudio se centró en el municipio La Pintada, por continuidad de la formación geológica en el municipio Fredonia, se infiere que algunas de las características hidrogeológicas mencionadas podrían ser similares.

#### 5.1.9.1.4 Unidad hidrogeológica C1 (UH-C1)

Esta unidad está representada por los depósitos de vertientes (Qdv) y la Formación Amagá (miembro superior), ambos localizados al sur del área de influencia del medio abiótico.

- Depósito de vertientes (Qdv): en la salida de campo realizada en la zona, se observó que estos depósitos se encuentran constituidos por bloques de roca angulares de composición volcánica en una matriz de arenas, limos y arcillas completamente mezclados. De acuerdo con CORANTIOQUIA y SHI (2014)<sup>141</sup>, los depósitos de vertiente asociados a la Formación Combia se caracterizan por presentar una permeabilidad primaria baja y unas conductividades eléctricas que oscilan entre 120 y 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Una vez delimitadas y categorizadas las unidades hidrogeológicas existentes en el área de influencia del medio abiótico, se encuentra que la unidad UH-B4, abarca la mayor parte de área con un 49,05%; le sigue la unidad UH-A1, ocupando el 24,57%. Finalmente, con un porcentaje de 23,86% se tiene la unidad UH-C1 y la unidad UH-A4 con el 2,52% del Al abiótica.

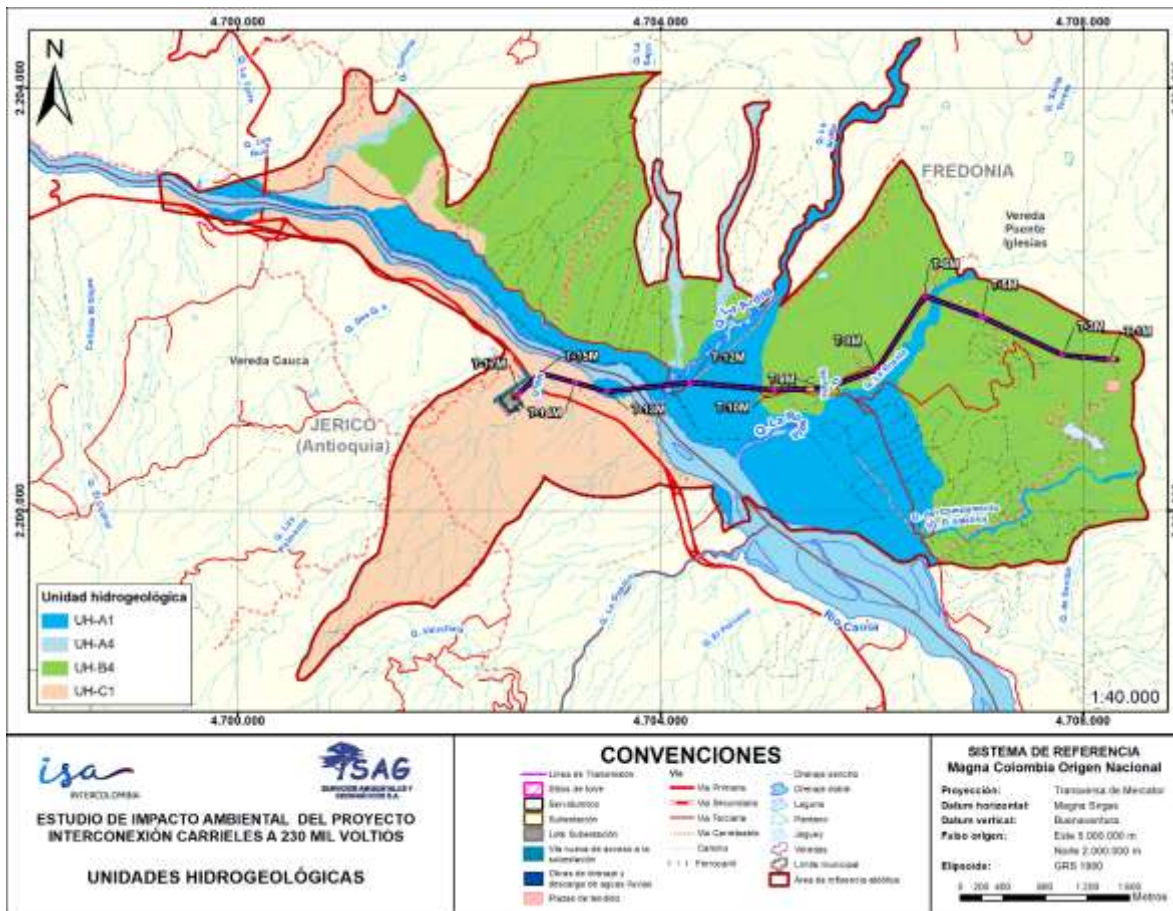
**Tabla 5-120. Extensión de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico.**

Unidad hidrogeológica	Nomenclat geológica	Área ha	Área %
UH-A1	Qal	563,03	24,57%
UH-A4	Qal	57,69	2,52%
UH-B4	Ngas	1123,93	49,05%
UH-C1	Qdv	546,68	23,86%
<b>Total</b>		<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: SAG, 2024*

En la [Figura 5-103](#) se presenta la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas del Al para el medio abiótico.

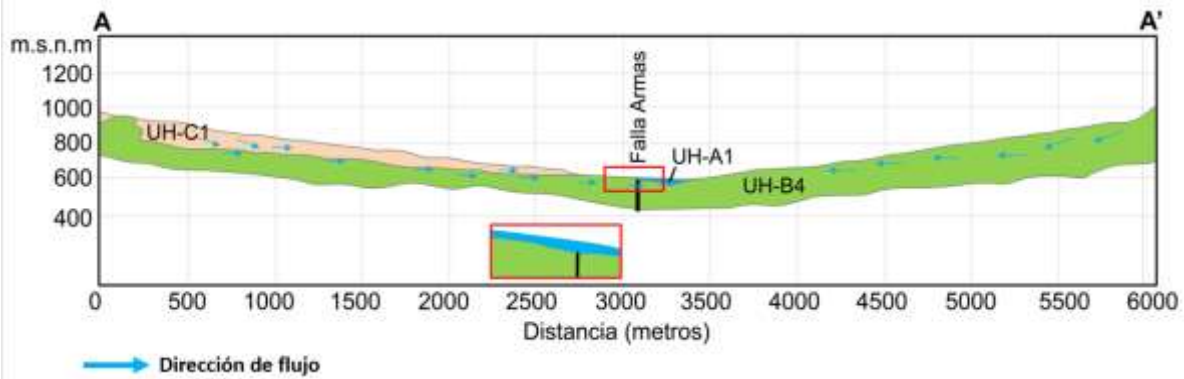
<sup>141</sup> CORANTIOQUIA y SHI, op. cit., p. 297



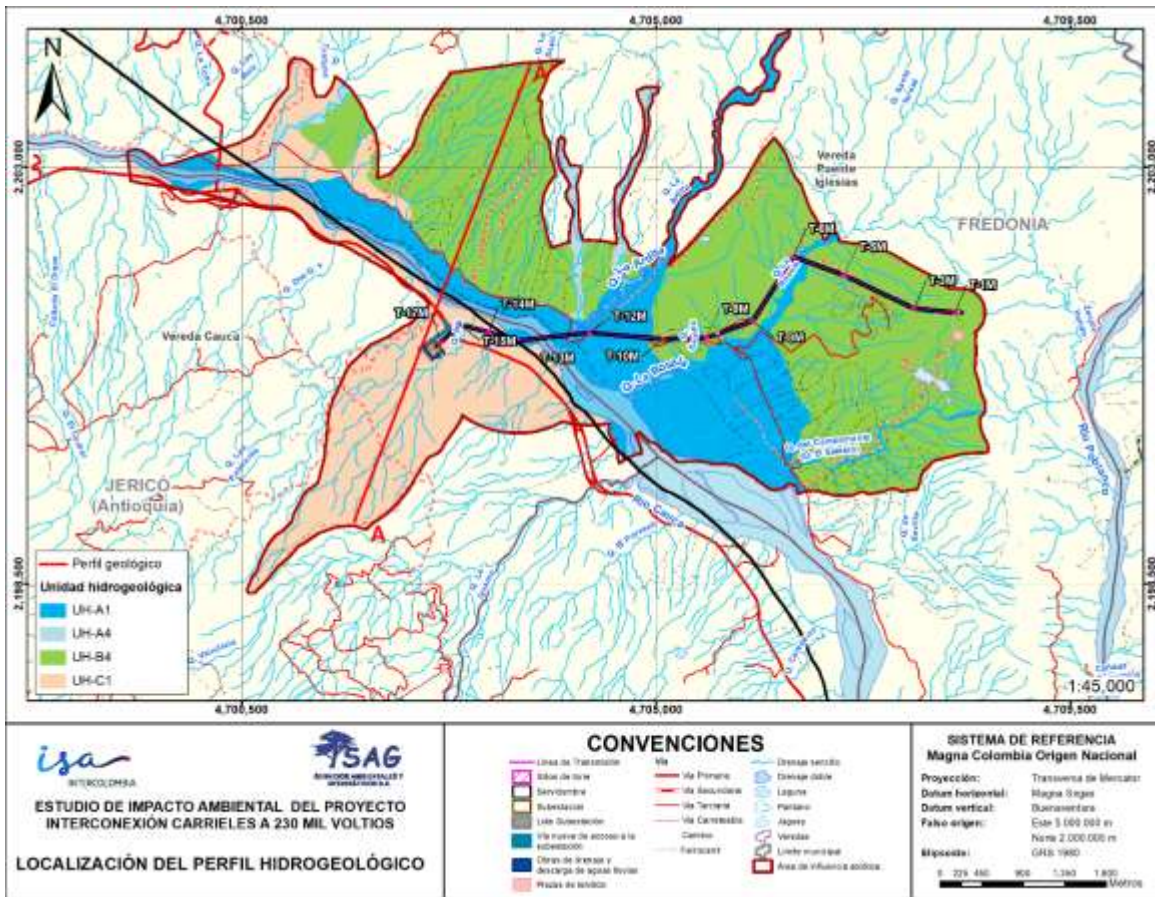
**Figura 5-103. Unidades hidrogeológicas del área de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024

En la Figura 5-104 se presenta el perfil hidrogeológico del modelo conceptual, en el cual se puede observar la disposición de las unidades hidrogeológicas y la interpretación de la dirección de flujo. En la Figura 5-105 se muestra la localización del perfil hidrogeológico presentado.



**Figura 5-104. Perfil hidrogeológico del modelo conceptual.**  
Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-105. Localización de perfil hidrogeológico.**  
Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9.2 Potencial de recarga

La recarga de acuíferos se define como la cantidad de agua que ingresa a una zona saturada, sumándose a las reservas de agua subterránea; sin embargo, existen diversos factores que pueden impedir o facilitar el ingreso de ésta al terreno, por ejemplo, la naturaleza del suelo y sus propiedades hidráulicas, las características geológicas y topográficas del lugar, el uso del suelo, entre otros.

Con el objetivo de determinar las zonas potenciales de recarga en el área de influencia del medio abiótico, se utilizó el método propuesto por Matus, Faustino y Jiménez<sup>142</sup>, el cual se basa en realizar una ponderación de la posibilidad de recarga de acuerdo con cinco (5) factores a saber: pendiente (Pend), tipo de suelo según su textura (Ts), permeabilidad de las rocas (Tr), densidad de la cobertura vegetal (Cve) y uso de suelo (Us). Ver Tabla 5-121 a la Tabla 5-125).

**Tabla 5-121. Ponderación potencial de la recarga hídrica según tipo de pendiente (Pend).**

Rango (%)	Interpretación	Potencial Recarga	Ponderación
0-6	Plano a casi plano, con o sin rugosidad	Muy Alta	5
6-15	Moderadamente ondulado o cóncavo	Alta	4
15-45	Ondulado/cóncavo	Moderada	3
45-65	Escarpado	Baja	2
>65	Fuertemente escarpado	Muy Baja	1

*Fuente: Matus, Faustino y Jiménez, 2009*

**Tabla 5-122. Ponderación potencial de la recarga hídrica del suelo según su textura (Ts).**

Textura	Potencial Recarga	Ponderación
Suelos franco-arenosos a arenosos, con tamaño de agregados de partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	Muy Alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7-25 cm/h)	Alta	4
Suelos franco-limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2-12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelos franco-arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13-2 cm/h)	Baja	2

<sup>142</sup> MATUS, O; FAUSTINO, J Y JIMÉNEZ, F. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: aplicación práctica en la subcuenca del Río Jucuapa. Turrialba, Costa Rica, 2009. p. 10-16.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Textura	Potencial Recarga	Ponderación
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0.13 cm/h)	Muy Baja	1

Fuente: Matus, Faustino y Jiménez, 2009

**Tabla 5-123. Ponderación de la potencial de la recarga hídrica según el tipo de roca (Tr).**

Tipo de roca	Potencial Recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arenas y gravas	Muy Alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cimentación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables. semisuaves, con regular conexión entre poros	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas	Muy Baja	1

Fuente: Matus, Faustino y Jiménez, 2009

**Tabla 5-124. Ponderación potencial de la recarga hídrica según la densidad de la cobertura (Cve).**

Porcentaje de cobertura vegetal	Potencial Recarga	Ponderación
>80	Muy alta	5
70-80	Alta	4
50-70	Moderada	3
30-50	Baja	2
<30	Muy Baja	1

Fuente: Matus, Faustino y Jiménez, 2009

 <b>SAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <b>isa</b> INTERCOLOMBIA	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-125. Ponderación potencial de la recarga hídrica según el uso del suelo (Us).**

Uso del suelo	Potencial Recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso.	Muy Alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles.	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua.	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo.	Muy Baja	1

*Fuente: Matus, Faustino y Jiménez, 2009*

Luego de ponderar cada uno de los criterios evaluados, el método emplea la siguiente ecuación para determinar el potencial de recarga hídrica:

$$ZR = [0,27(Pend) + 0,23(Ts) + 0,12(Tr) + 0,25(Cve) + 0,13(Us)]$$

Donde:

- ZR: Potencial de recarga hídrica.
- Pend: pendiente.
- Ts: Textura del suelo.
- Tr: Permeabilidad del suelo.
- Cve: Cobertura vegetal.
- Us: Uso del suelo. Corresponde al uso actual del suelo.

El valor obtenido mediante la ecuación anterior se clasifica en un rango de posibilidades de recarga hídrica, el cual se detalla en la Tabla 5-126.

**Tabla 5-126. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto.**

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4,1 – 5,0
Alta	3,5 - 4,09
Moderada	2,6 - 3,49
Baja	2,0 - 2,59
Muy baja	1,0 - 1,99

*Fuente: SAG, 2024*



Con el objetivo de facilitar la comprensión del análisis realizado, se presenta a continuación una breve descripción de los resultados individuales de cada capa temática y su potencial de recarga.

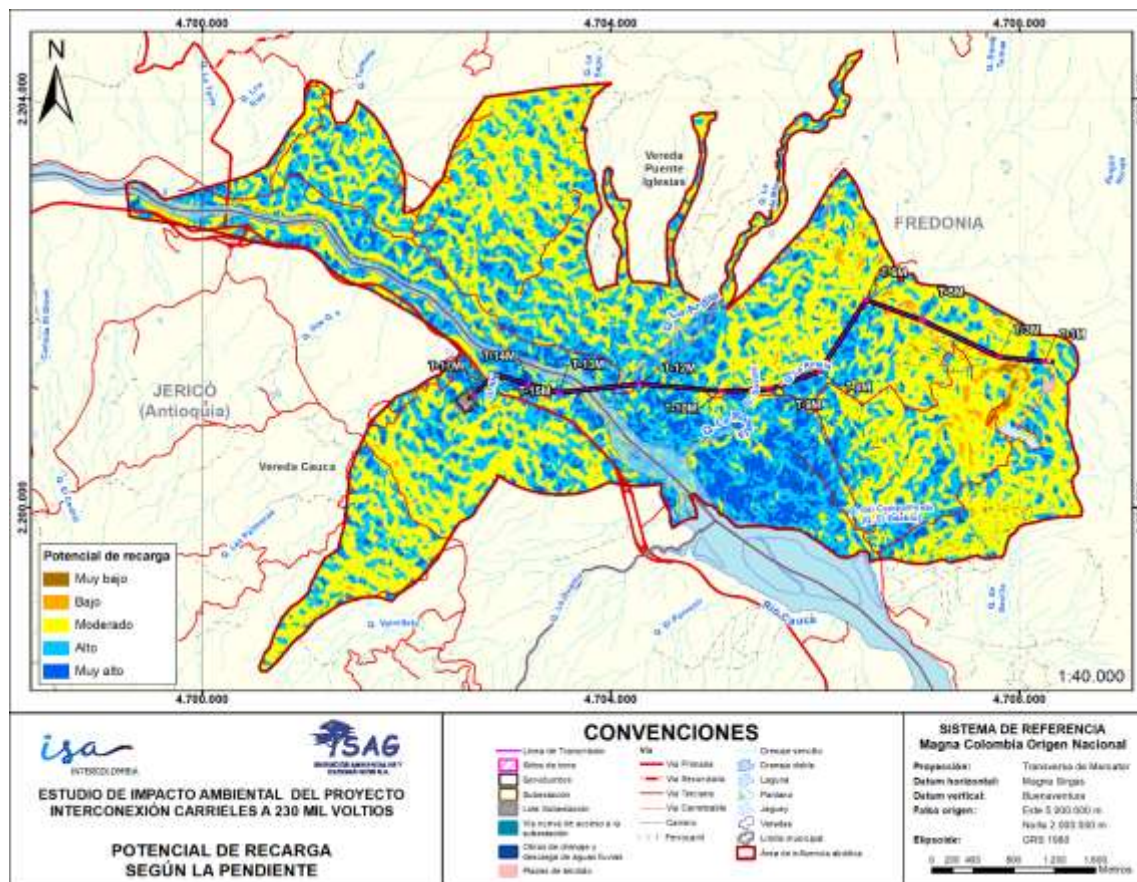
#### 5.1.9.2.1 Potencial de recarga según tipo de pendientes (Pend)

Esta capa se generó a partir de un modelo digital del terreno (DEM) con una resolución de 12,5 m (ver Figura 5-106), posteriormente se ponderó, obteniendo como resultado que el potencial de recarga en el área de influencia del medio abiótico es entre Alto y Moderado y se incrementa ligeramente en las cercanías del río Cauca y la quebrada La Ardita, o las quebradas que hagan presencia en el área de influencia del medio abiótico, como se muestra en la Tabla 5-127.

**Tabla 5-127. Potencial de recarga por pendientes.**

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Muy baja	3,13	0,14%
Baja	25,86	1,13%
Moderada	1163,42	50,77%
Alta	833,58	36,38%
Muy alta	265,34	11,58%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-106. Potencial de recarga de acuerdo con la pendiente.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.9.2.2 Potencial de recarga según clase textural del suelo (Ts)

Esta capa se realizó con base en la textura de las unidades cartográficas de suelo del área de influencia del medio abiótico (ver Figura 5-107). En general, en el área de influencia del medio abiótico predominan los suelos franco-arcillosos, es decir, con granulometrías finas a muy finas. Considerando lo anterior, se obtuvo que para este parámetro la posibilidad de recarga es principalmente Baja y Moderada como se presenta en la Tabla 5-128.

**Tabla 5-128. Potencial de recarga por textura del suelo.**

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Muy bajo	52,69	2,30%
Bajo	1119,69	48,87%
Moderado	1011,10	44,13%

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Alto	107,85	4,71%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

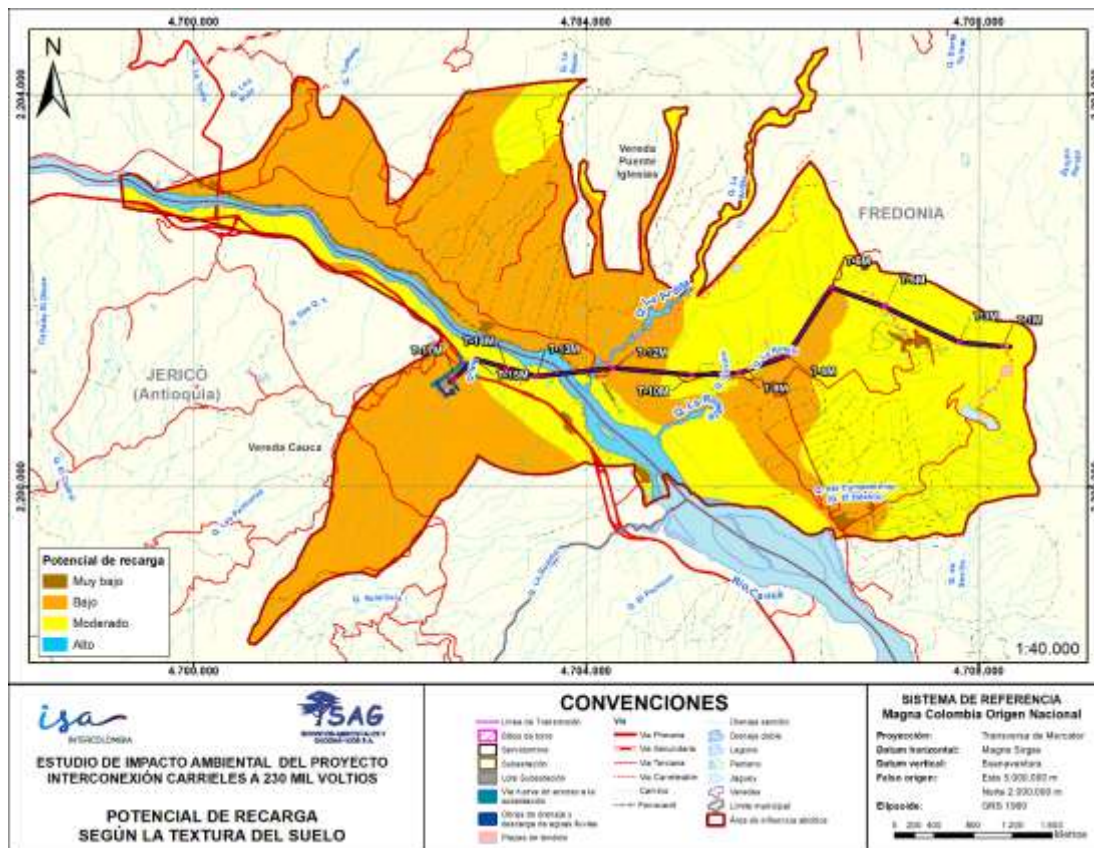


Figura 5-107. Potencial de recarga de acuerdo con la clase textural del suelo.

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9.2.3 Potencial de recarga según la permeabilidad (Tr)

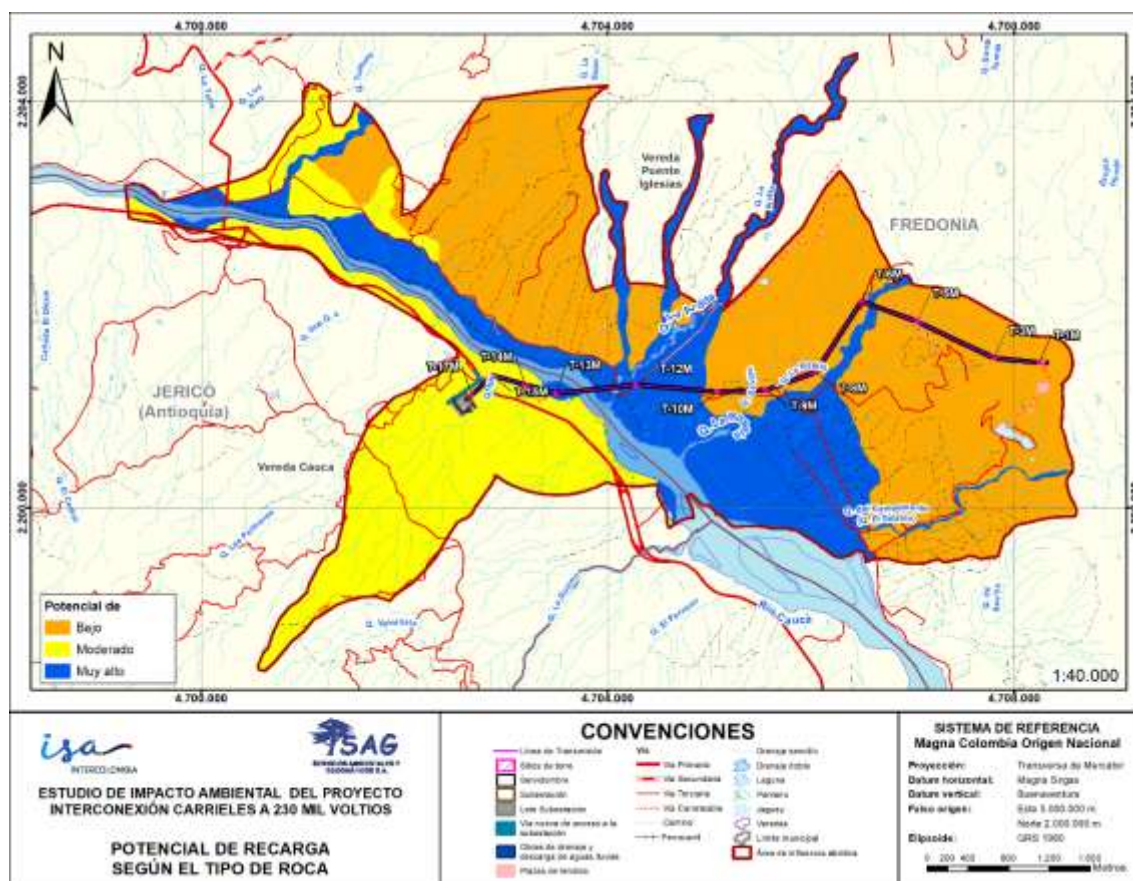
Esta capa se obtuvo a partir de la interpretación de las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, las cuales se describen con detalle en los numerales 5.1.5 y 5.1.9.1. En general, hacia el noreste (NE) la posibilidad de recarga es Baja, debido a la porosidad secundaria que posee la Formación Amagá; hacia el suroeste (SW) la posibilidad de recarga es mayor, debido a las granulometrías finas que hacen parte de los depósitos de vertiente localizados en esta zona, y hacia el centro del área de influencia del medio abiótico se obtuvo una posibilidad de recarga Muy Alta, debido a la presencia de los

depósitos aluviales del río Cauca y la quebrada La Ardita (ver Figura 5-108). Las áreas de potencial de recarga obtenidas para esta variable se presentan en la Tabla 5-129.

**Tabla 5-129. Potencial de recarga por tipo de roca / permeabilidad.**

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Bajo	1124,85	49,09%
Moderado	545,77	23,82%
Muy alto	620,71	27,09%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-108. Potencial de recarga de acuerdo con el tipo de roca / permeabilidad.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.9.2.4 Potencial de recarga según densidad de cobertura vegetal (Cve)

Para la estimación del porcentaje de densidad de cobertura vegetal (Cve), se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mediante el uso de las bandas 4 (Rojo visible -R-) y 8A (Infrarrojo cercano -NIR-) de imágenes del satélite Sentinel 2B L1C de 10 m de resolución en el visible, con fecha del 06/08/2021, las cuales son de libre acceso. Las imágenes se procesaron mediante software y se les realizó la corrección atmosférica respectiva. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Los resultados del cálculo y su categoría de potencial de recarga para esta variable se presentan en la Tabla 5-130 y la Figura 5-109.

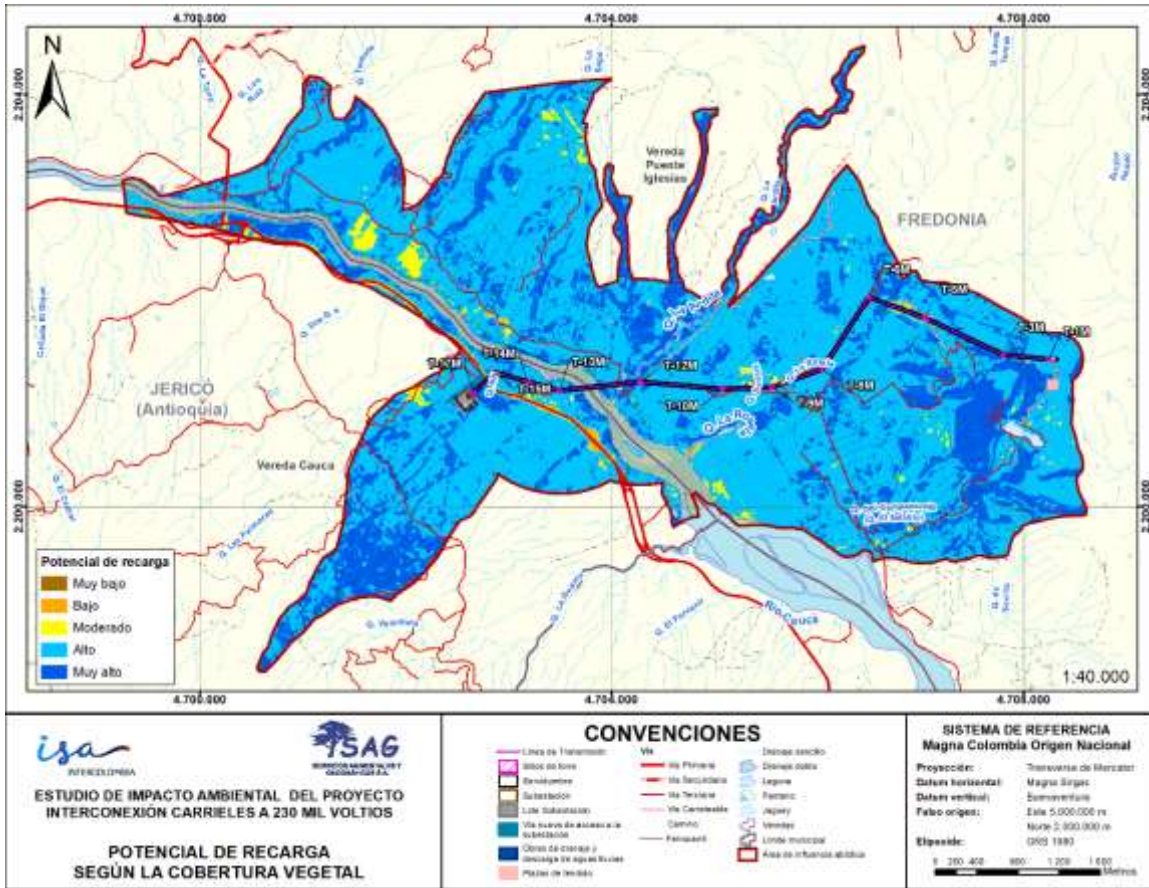
**Tabla 5-130. Valoración de los resultados del cálculo del NDVI.**

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Muy bajo	55,32	2,41%
Bajo	30,93	1,35%
Moderado	66,01	2,88%
Alto	1599,50	69,81%
Muy alto	539,57	23,55%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

Estos resultados de densidad de cobertura vegetal, según el método propuesto por Matus, Faustino y Jiménez<sup>143</sup> para determinar las zonas potenciales de recarga, son consistentes con las coberturas vegetales identificadas en el área de influencia del medio abiótico.

<sup>143</sup> Ibid., pág. 10-16.

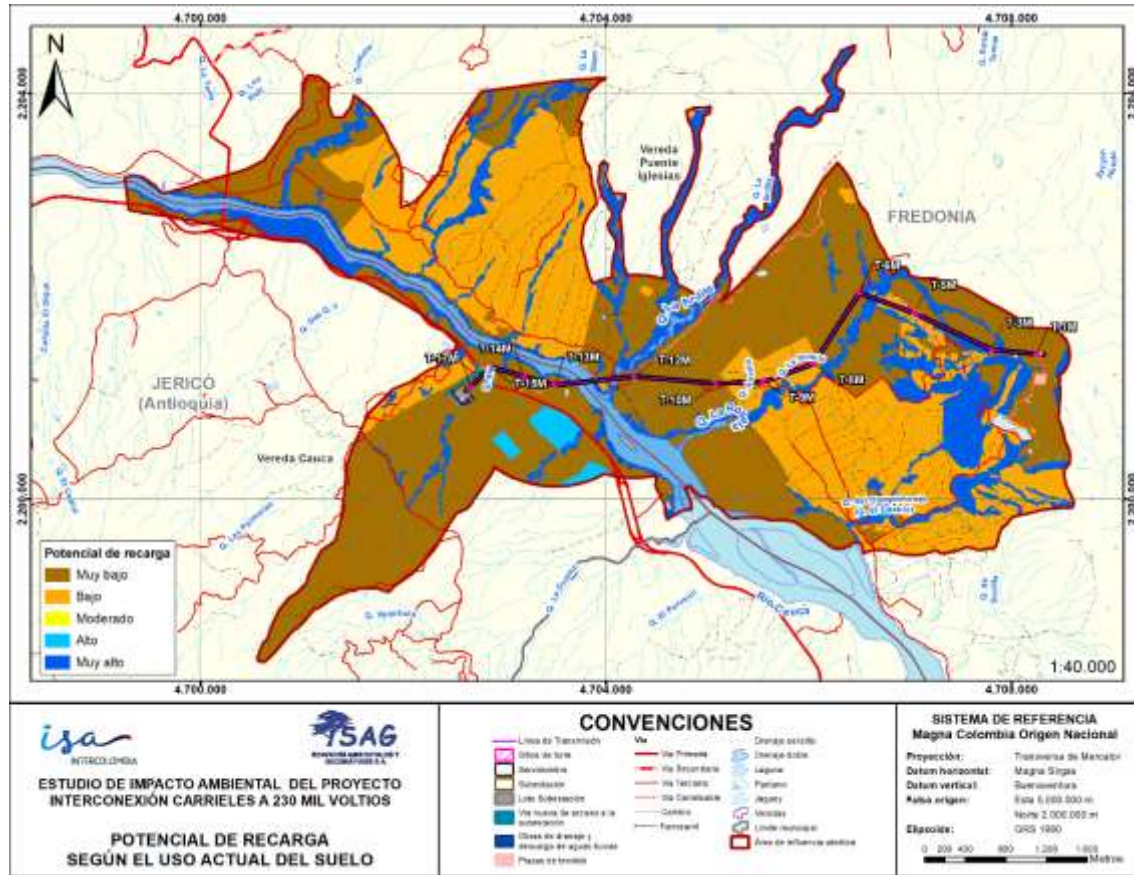


**Figura 5-109. Potencial de recarga de acuerdo con la densidad de la cobertura vegetal.**

Fuente: SAG, 2024

5.1.9.2.5 Potencial de la recarga hídrica según el uso del suelo (Us)

Esta capa corresponde al uso actual del suelo en el área de influencia del medio abiótico presentado en el numeral 5.1.5. El resultado de potencial de recarga según el uso actual del suelo se presenta en la Figura 5-110 y en la Tabla 5-131.



**Figura 5-110. Potencial de recarga de acuerdo con el uso del suelo**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 5-131. Potencial de recarga según el uso del suelo**

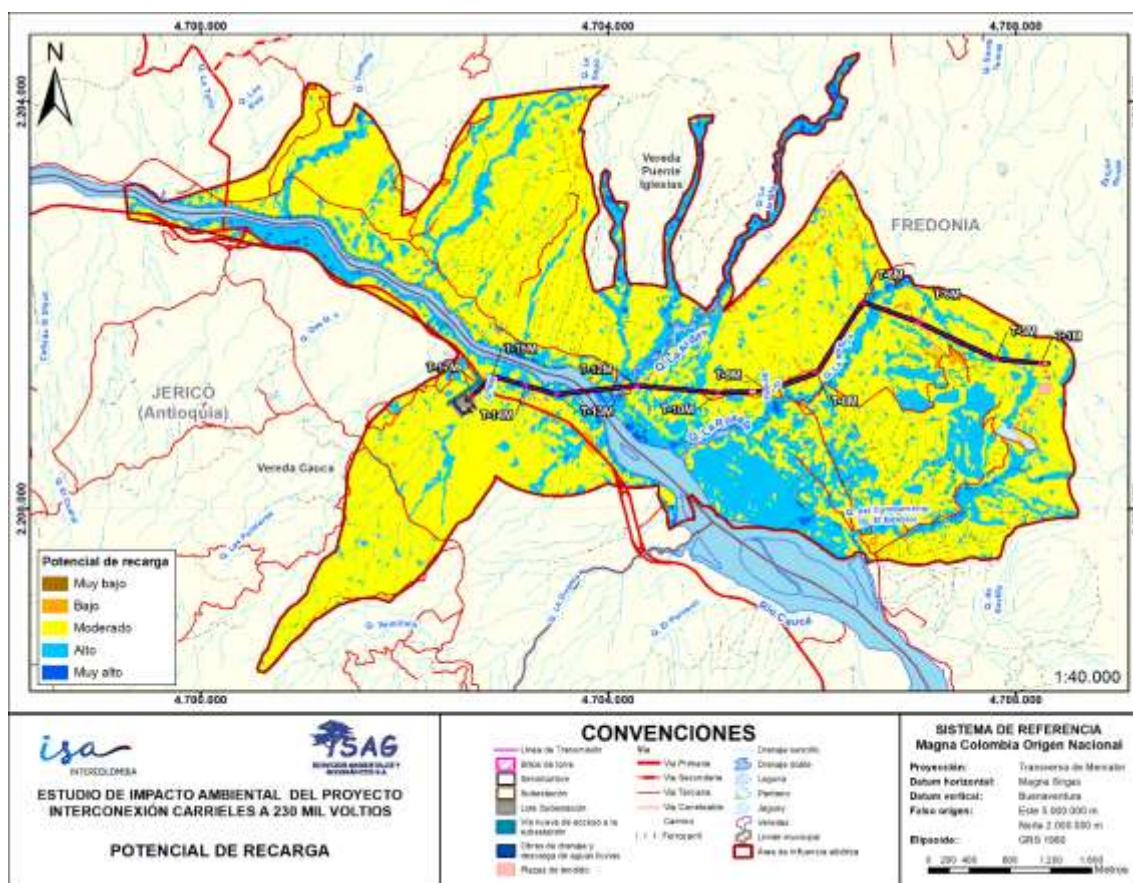
Potencial de recarga	Área ha	Área %
Muy bajo	1072,24	46,80%
Bajo	716,21	31,26%
Moderado	0,24	0,01%
Alto	21,23	0,93%
Muy alto	481,41	21,01%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9.2.6 Potencial de Recarga Total (ZR)

Una vez ponderadas cada una de las capas temáticas, se procedió a calcular el potencial de recarga, de acuerdo con la ecuación presentada en el numeral 5.1.9.2, cuyos resultados se espacializan en la Figura 5-111.

En general, se encontró que en el área de influencia del medio abiótico predomina el potencial de recarga Moderado ocupando el 67,81%, seguido del potencial de recarga Alto en el 28,27%, luego el potencial de recarga Muy Alto en el 2,37% y en menor proporción potencial el de recarga Bajo en el 1,55% y potencial de recarga Muy Bajo en un 0,000003% del AI abiótica (ver Tabla 5-132).



**Figura 5-111. Potencial de recarga del área de influencia abiótica.**  
Fuente: SAG, 2024



**Tabla 5-132. Potencial de recarga**

Potencial de recarga	Área ha	Área %
Muy bajo	0,00008	0,000003%
Bajo	35,47	1,55%
Moderado	1553,84	67,81%
Alto	647,69	28,27%
Muy alto	54,33	2,37%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9.3 Zonas de recarga, tránsito y descarga

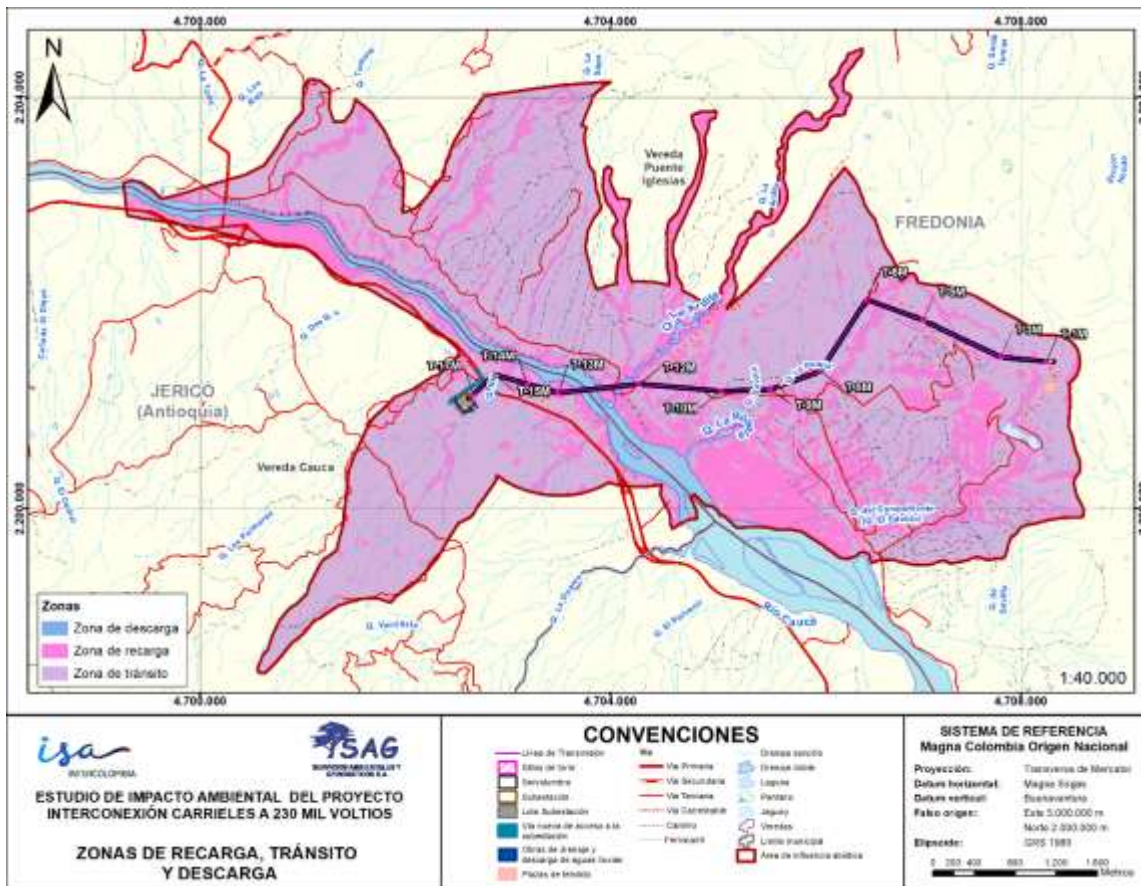
En este numeral se presentan las características superficiales del área de influencia del medio abiótico que intervienen en los sistemas de flujo y, por lo tanto, permiten delimitar las zonas de recarga, tránsito y descarga.

A partir del potencial de recarga, fue posible definir las zonas de recarga, zonas de tránsito y zonas de descarga. Las zonas de recarga se encuentran conformadas por las áreas que presentan un mayor potencial de recarga, de acuerdo con el análisis presentado. Por otro lado, las zonas de descarga corresponden con el área del río Cauca. Finalmente, las zonas de tránsito corresponden con el resto del área de influencia del medio abiótico. En la [Figura 5-112](#) y en la Tabla 5-133 se presenta el resultado de las zonas de recarga, tránsito y descarga, las cuales corresponden con el 27,05%, 69,33% 3,62% del área de influencia del medio abiótico, respectivamente.

**Tabla 5-133. Zonas de recarga, tránsito y descarga.**

Tipo de zona	Área ha	Área %
Zona de descarga	82,96	3,62%
Zona de recarga	619,88	27,05%
Zona de tránsito	1588,49	69,33%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-112. Zonas de recarga, tránsito y descarga.**

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.9.4 Direcciones de flujo

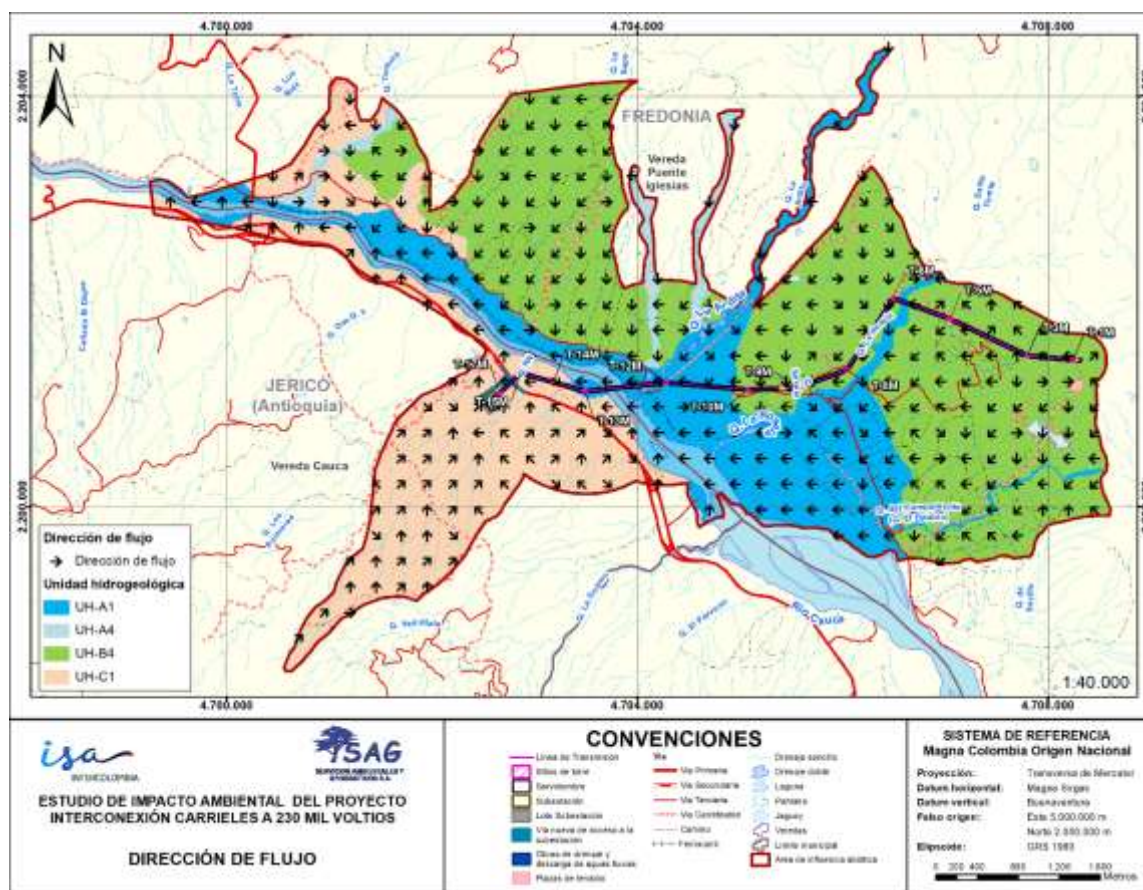
Luego de una revisión de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico y un análisis de las zonas de recarga, se determinó que las principales zonas de recarga se presentan cercanas al río Cauca, como también aquellas zonas donde la topografía puede ser un poco más elevada y que se relaciona con quebradas.

En general, la mayor parte del área de influencia del medio abiótico actúa como una zona de tránsito. En el caso de la zona sur del AI, el agua posiblemente fluye a través de los depósitos de vertiente de manera paralela a los drenajes superficiales que descargan en el río Cauca; lo anterior se debe a que se trata de un medio con porosidad primaria.

En el caso de la Formación Amagá, no es posible establecer con certeza la dirección del flujo de agua subterránea, dado que al ser un medio fracturado o con porosidad secundaria, el agua tiende a moverse a través de los planos de discontinuidad principales; sin embargo,

se puede inferir que, el agua subterránea en esta zona podría dirigirse de mayor a menor altura, debido al incremento de la conductividad eléctrica encontrada por CORANTIOQUIA y SHI (2014)<sup>144</sup>, a medida que se desciende por esta misma unidad geológica; si bien, el estudio se centró en el municipio La Pintada, por continuidad de la formación geológica en el municipio de Fredonia, se infiere que el flujo en general podría tener un comportamiento similar.

A continuación, se presenta una representación conceptual de las direcciones del flujo subterráneo en el área de influencia del medio abiótico (ver Figura 5-113).



**Figura 5-113. Esquema conceptual de las zonas de descarga y dirección de flujo.**



Fuente: SAG, 2024

<sup>144</sup> CORANTIOQUIA Y SHI, op. cit., p. 301



### 5.1.9.5 Inventario de puntos de agua

El inventario de puntos de agua subterránea se elaboró basado en los datos tomados durante trabajo de campo realizado para la obtención de información primaria, tanto para el presente EIA como para el Diagnóstico Ambiental de Alternativas, a partir de los cuales se identificaron cuatro (4) puntos de agua subterránea dentro del área de influencia del medio abiótico, de los cuales dos (2) son pozos y dos (2) son manantiales (ver Tabla 5-134).

**Tabla 5-134. Puntos de agua identificados en el área de influencia del medio abiótico.**

ID	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	Registro fotográfico	Descripción
PC1	Este: 4.70.3934,80 Norte: 2.201.216,40		Pozo de agua instalado sobre un depósito aluvial. De acuerdo con la información primaria obtenida, el nivel de agua se encuentra a 8 m de la superficie, sin embargo, no se conoce la profundidad del pozo. Se resalta que, para la fecha de la visita, el pozo no estaba en operación.
PC2	Este: 4.707.385,96 Norte: 2.201.569,25		No fue posible obtener información sobre las características físicas y de diseño de este pozo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

<b>IPA01</b>	Este: 4.705.954,20  Norte: 2.202.018,07		Manantial, sobre la unidad geológica Formación Amagá miembro superior, con agua incolora, apariencia clara e inoloro.
<b>IPA02</b>	Este: 4.707.610,52  Norte: 2.201.549,81		Manantial, sobre la unidad geológica Formación Amagá miembro superior, con agua incolora, apariencia clara e inoloro.

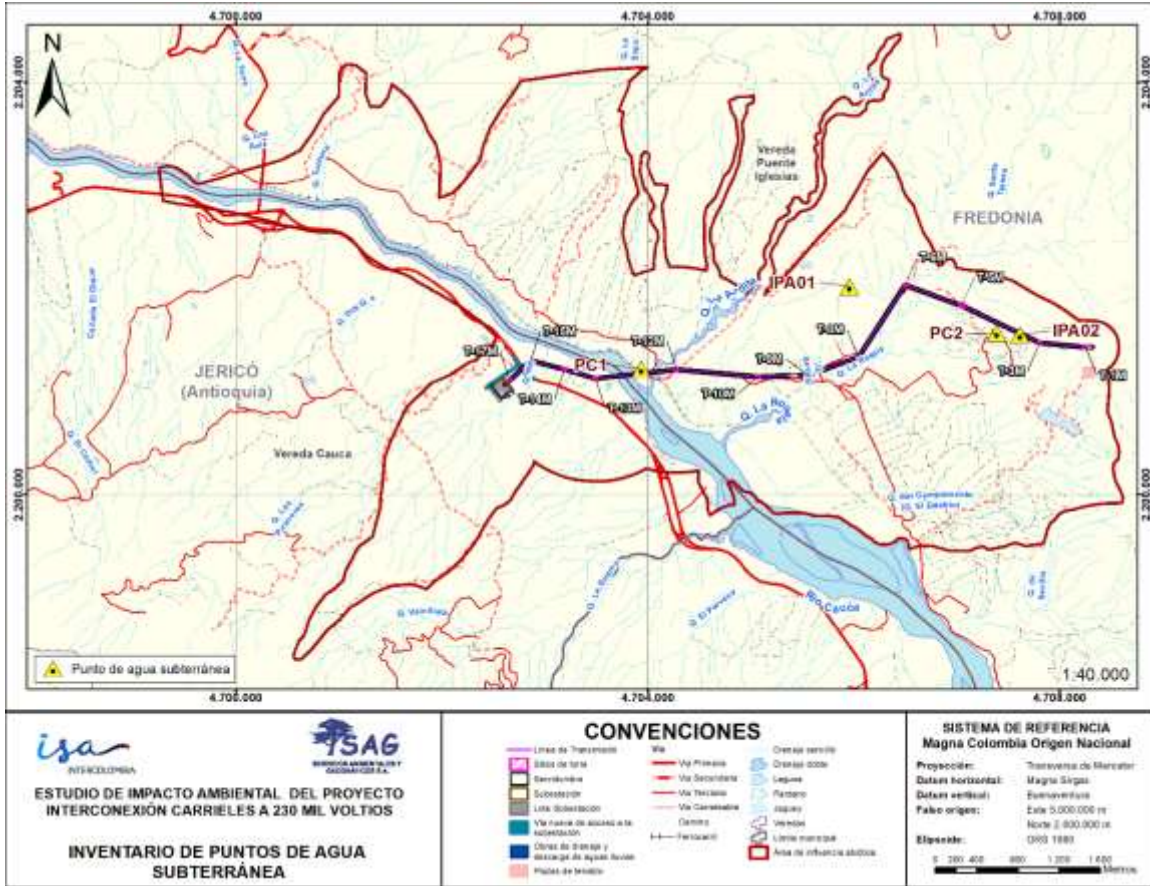
*Fuente: SAG, 2024*

A partir de información proporcionada por propietarios de predios visitados durante la etapa de trabajos de campo, en el área de influencia no se utiliza el agua subterránea como fuente principal de abastecimiento, sino que esta resulta complementaria para actividades agrícolas y pecuarias.

Los puntos de agua que se mantienen como fuente complementaria corresponde a los pozos inventariados, mientras que los manantiales inventariados se encuentran sin uso. Con base en lo anterior, se considera que la demanda de agua subterránea es mínima.

Finalmente, en la [Figura 5-114](#) se presenta el mapa de localización del inventario de puntos de agua subterránea para el área de influencia del medio abiótico.

El formato FUNIAS del inventario de puntos de agua subterránea se encuentra en el ANEXO\_5\_1\_12\_HIDROGEOLOGIA.



**Figura 5-114. Inventario de puntos de agua en el agua de influencia del medio abiótico.**

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.9.6 Hidroquímica

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua<sup>145</sup>, el sistema acuífero La Pintada-Valparaiso presenta aguas subterráneas que principalmente se pueden catalogar como bicarbonatada cálcica, en mayor medida, y bicarbonatada magnésica. Por otra parte, se indica que se confirma la presencia de aguas con tendencia clorurada sódica.

De acuerdo con CORANTIOQUIA y SHI (2014)<sup>146</sup>, con base en resultados de análisis fisicoquímicos de aguas subterráneas, el sistema acuífero La Pintada-Valparaiso presenta

<sup>145</sup> IDEAM. 2018. Op cit

<sup>146</sup> CORANTIOQUIA Y SHI, op. cit.

una predominancia de aguas mixtas con alguna tendencia hacia el catión calcio y una presencia menor del catión magnesio. El catión Sodio solo es representado de manera importante en un punto de monitoreo. Además, se indica que el triángulo de análisis de aniones presenta una tendencia primordialmente bicarbonatada, con alguna presencia de aguas sulfatadas.

A nivel local, a partir del inventario de puntos de agua subterránea, mediante medición *in situ*, se pudieron obtener valores de pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos totales, a partir de los cuales se puede observar que el agua monitoreada en manantiales IPA01 e IPA02 presenta una mineralización significativa, lo cual indica un tiempo de residencia considerable en el medio subterráneo, en el cual es posible que el agua genere disolución de iones. Los valores medidos se presentan en la Tabla 5-135.

**Tabla 5-135. Parámetros fisicoquímicos *in situ* medidos en el AI abiótica.**

Punto	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Temperatura	Sólidos disueltos totales (ppm)
IPA01	7,38	1189	30,1	553
IPA 02	7,10	1621	26	963

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.9.7 Vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas a la contaminación

La vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas es un concepto que fue introducido a finales de la década de los años sesenta por el hidrogeólogo francés Jean Margat, el cual se basa en la tesis de que el medio geológico y la cubierta edafológica proporcionan cierto grado de protección a las aguas subterráneas frente a contaminantes de origen tanto natural, como derivados de actividades humanas.

Para determinar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero existen diferentes metodologías. Estas coinciden en la determinación de la vulnerabilidad, debido a las características intrínsecas del medio, por lo que algunas metodologías la denominan vulnerabilidad intrínseca. Algunos otros métodos, están íntimamente relacionados con el tipo de contaminante y resultan más complejos.

Para evaluar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las unidades hidrogeológicas, en el marco del presente Estudio de Impacto Ambiental, se empleó el método GOD. En el capítulo 2. Generalidades se presenta detalladamente la metodología GOD aplicada.

La vulnerabilidad según el método se calcula como el producto de los siguientes factores:

$$IV: G \cdot O \cdot D$$

Donde:

- **IV**=Índice de vulnerabilidad
- **G**= Índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (Groundwater occurrence).
- **O**= Índice por litología de la capa confinante o zona no saturada (Overall Aquifer class).
- **D** = Índice de profundidad o distancia medida desde la fuente contaminante y el techo de la unidad hidrogeológica (Depth).

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno, siendo 1 la condición más desfavorable y 0 la más favorable: La clasificación para determinar el grado de vulnerabilidad del acuífero se presenta en la Tabla 5-136.

**Tabla 5-136. Rangos de vulnerabilidad del método GOD.**

Vulnerabilidad	Rango
Despreciable	<0,1
Baja	0,1 – 0,3
Moderada	0,3 – 0,5
Alta	0,5 – 0,7
Extrema	>0,7

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010<sup>147</sup>

Con respecto a la condición de confinamiento de acuífero a las unidades hidrogeológicas A1 y A4 se les asignó el valor para acuífero libre, mientras que se consideró que las unidades hidrogeológicas B4 y C1 se comportan como semiconfinadas.

Tomando en cuenta la litología, para la unidad hidrogeológica A1 se consideró una composición de gravas, para la unidad hidrogeológica A4 una litología de suelos residuales, para la unidad hidrogeológica B4 se consideró que se encuentra compuesta por gravas y rocas volcano-sedimentarias y para la unidad hidrogeológica C1 su composición se estableció como bloques en matriz limo arcillosa.

Finalmente, para el parámetro que tiene que ver con la profundidad del agua subterránea, se estima que la unidad hidrogeológica A2 presenta una profundidad superior a 5 m, mientras que la unidad hidrogeológica A4 se considera una profundidad menor a 5 m. Para las unidades hidrogeológicas B4 y C1 se considera que la profundidad puede encontrarse a más de 20 m.

Al multiplicar los valores asignados a los tres (3) parámetros que contempla el método GOD se obtuvo el índice de vulnerabilidad para cada unidad, ver Tabla 5-137.

<sup>147</sup> Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Bogotá. 2010.



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-137. Resultado de la vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas a la contaminación.**

Unidad hidrogeológica	Vulnerabilidad
A1	Alta
A4	Media
B4	Baja
C1	Baja

Fuente: SAG, 2024

En la [Figura 5-115](#) se presenta la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia abiótica y en la Tabla 5-138 se presentan las áreas de las categorías de vulnerabilidad a la contaminación obtenidas. Nótese como el 72,91% se encuentra en vulnerabilidad baja, el 24,57% se encuentra en vulnerabilidad Alta y el 2,52% se encuentra en vulnerabilidad Media.

**Tabla 5-138. Categorías de vulnerabilidad a la contaminación del AI física.**

Categoría	ÁREA Ha	ÁREA%
Alta	563,03	24,57%
Media	57,69	2,52%
Baja	1670,61	72,91%
<b>Total</b>	<b>2291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2023

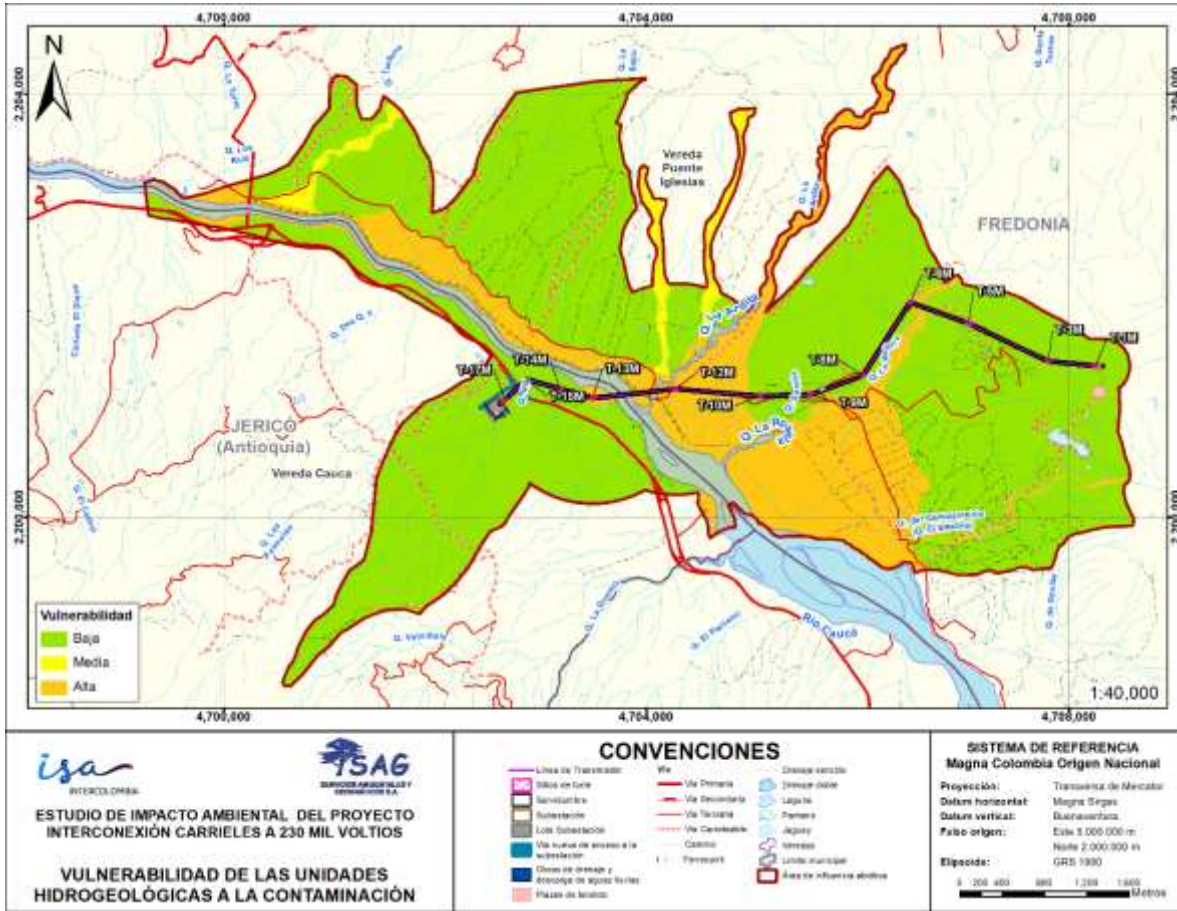


Figura 5-115. Vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas a la contaminación.

Fuente: SAG, 2024

## 5.1.10 Geotecnia

### 5.1.10.1 Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica se realizó con un enfoque heurístico, es decir basándose en el conocimiento del equipo profesional experto, tomando como referencia la metodología de Ambalagan, 1992 (en Suárez, 1998), la cual asigna un peso a cada variable para finalmente calcular la sumatoria de los productos de la calificación asignada a cada variable por su peso correspondiente.

Para el presente numeral se enfoca la zonificación a la sensibilidad que puede presentar el terreno al desarrollo de fenómenos de inestabilidad, la cual puede estar favorecida por las

características físicas, las condiciones particulares del territorio o por la ocurrencia de eventos meteorológicos, hidrológicos, sísmicos, etc.

Es importante reconocer que la zonificación geotécnica es una herramienta útil en el proceso de identificación y diseño de soluciones orientadas a obtener una condición de estabilidad adecuada, incluyendo en caso necesario, recomendaciones de reubicación de algunos sitios de torre, de manera que se garanticen condiciones seguras para las personas, la infraestructura, los bienes y servicios.

Para el área de influencia abiótica, las variables seleccionadas fueron las mismas usadas para hallar la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa: unidad litológica, pendientes, unidades geomorfológicas, cobertura de la tierra, unidades hidrogeológicas y distancia a cuerpos de agua.

Es importante aclarar que como resultado de la zonificación geotécnica se obtienen polígonos que representan condiciones homogéneas en cuanto al grado de estabilidad de del terreno y, de manera implícita, indican la susceptibilidad por procesos morfodinámicos. Para el mapa final de la zonificación geotécnica, las categorías se presentan en términos de aptitud geotécnica, la cual es inversamente proporcional a la amenaza por movimientos en masa. Sin embargo, la calificación de las variables analizadas se da en términos de susceptibilidad geotécnica y se presenta en la Tabla 5-139.

**Tabla 5-139. Categorías de susceptibilidad geotécnica.**

Susceptibilidad geotécnica
Muy Alta
Alta
Moderada
Baja
Muy Baja

Fuente: SAG, 2024

Para determinar la susceptibilidad geotécnica del área de influencia abiótica, se realizó la suma ponderada de las variables tal y como se muestra en la siguiente ecuación. Los pesos de las variables utilizadas se presentan en la Tabla 5-140.

$$Sensibilidad\ total = (LF * Pe) + (Ug * Pe) + (Uh * Pe) + (P * Pe) + (Cb * Pe) + (Dca * Pe) + (Pmd * Pe)$$

Dónde:

- LF=Unidades litológicas
- Ug=Unidades geomorfológicas
- Uh=Unidades hidrogeológicas
- P=Pendiente
- Cb=Coberturas de la tierra
- Dca=Distancia cuerpos de aguas naturales

- Pmd=Procesos morfodinámicos
- Pe=Peso

**Tabla 5-140. Pesos designados a las variables.**

Variable	Peso (%)
Unidad litológica o formación superficial	10
Unidades geomorfológicas	15
Distancia a cuerpo de agua	10
Pendientes	20
Coberturas de la tierra	15
Unidades hidrogeológicas	10
Procesos morfodinámicos	20

Fuente: SAG, 2024

Una vez realizada la calificación total de susceptibilidad geotécnica, los resultados obtenidos se recategorizaron para establecer cinco (5) rangos de calificación a los cuales se les asignaron categorías de susceptibilidad geotécnica. Los valores más bajos corresponden a las zonas más estables mientras que los valores altos corresponden a zonas menos estables. La Tabla 5-141 muestra los rangos de estabilidad establecidos.

**Tabla 5-141. Categorías de susceptibilidad geotécnica.**

Valor	Categorías de susceptibilidad geotécnica
4,21 - 5	Muy Baja
3,41 – 4,2	Baja
2,61 – 3,4	Media
1,81 – 2,6	Alta
1 -1,8	Muy alta

Fuente: SAG, 2024

Por otra parte, se tiene que, por definición, un detonante es un estímulo externo tal como una lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, cuya respuesta casi inmediata es una remoción en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud<sup>148</sup>. Este criterio fue aplicado para determinar la zonificación geotécnica como sigue. Los factores detonantes analizados fueron las lluvias y los sismos.

Con los resultados de las evaluaciones de los factores detonantes se calculó el índice de factores detonantes mediante la siguiente expresión:

<sup>148</sup> SGC. 2017

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

$$ID = (FP * 0,55) + (FS * 0,45)$$

Donde:

- **ID:** índice de factores detonantes
- **FP:** Factor de Precipitación
- **FS:** Factor de Sismicidad

Una vez definida la susceptibilidad geotécnica, se analizaron los posibles factores detonantes que pueden generar súbitamente procesos de inestabilidad, por lo tanto, al análisis de susceptibilidad se le integró la caracterización de los factores detonantes para obtener los niveles de aptitud geotécnica mediante la siguiente expresión:

$$AG = (SMM * 0,7) + (ID * 0,3)$$

Donde:

- **AG:** Aptitud geotécnica
- **SG:** Susceptibilidad Geotécnica
- **ID:** Índice de Factores Detonantes

Al conjugar la susceptibilidad geotécnica y los factores detonantes, se obtuvo el resultado de aptitud geotécnica del terreno, lo cual representa la zonificación geotécnica del presente Estudio de Impacto Ambiental. Para este proceso se utilizó el software ArcGIS 10.8 y se generó un mapa temático que estableció zonas de: Muy Alta, Alta, Moderada, Baja y Muy Baja aptitud geotécnica.

En el numeral [10.1.4.2.3.2.1.2 Amenaza por movimientos en masa](#), correspondiente al Plan de Gestión del Riesgo de Desastres del EIA, se presentan los mapas de todas las variables empleadas en la obtención de la susceptibilidad por movimientos en masa, las cuales son las mismas empleadas en la obtención de la susceptibilidad geotécnica (SG). Además, en dicho numeral, se presentan los mapas de las variables empleadas en la obtención del índice de factores detonantes, así como los resultados respectivos.

El 82,08% del AI abiótica se encuentra en zonas de aptitud geotécnica **Alta**, lo que indica buenas características del terreno para propiciar condiciones adecuadas de estabilidad. El 13,28% de área se encuentra en zonas de aptitud geotécnica **Muy alta**, el 4,57% presenta aptitud geotécnica **media** y el 0,06% presenta aptitud geotécnica **Baja** (Tabla 5-142 y Figura 5-116).

**Tabla 5-142. Áreas de zonificación geotécnica.**

Aptitud geotécnica	Área (Ha)	Área (%)
Baja	1,45	0,06
Media	104,83	4,57
Alta	1.880,74	82,08

Aptitud geotécnica	Área (Ha)	Área (%)
Muy alta	304,32	13,28
<b>Total</b>	<b>2.291,33</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: SAG, 2024

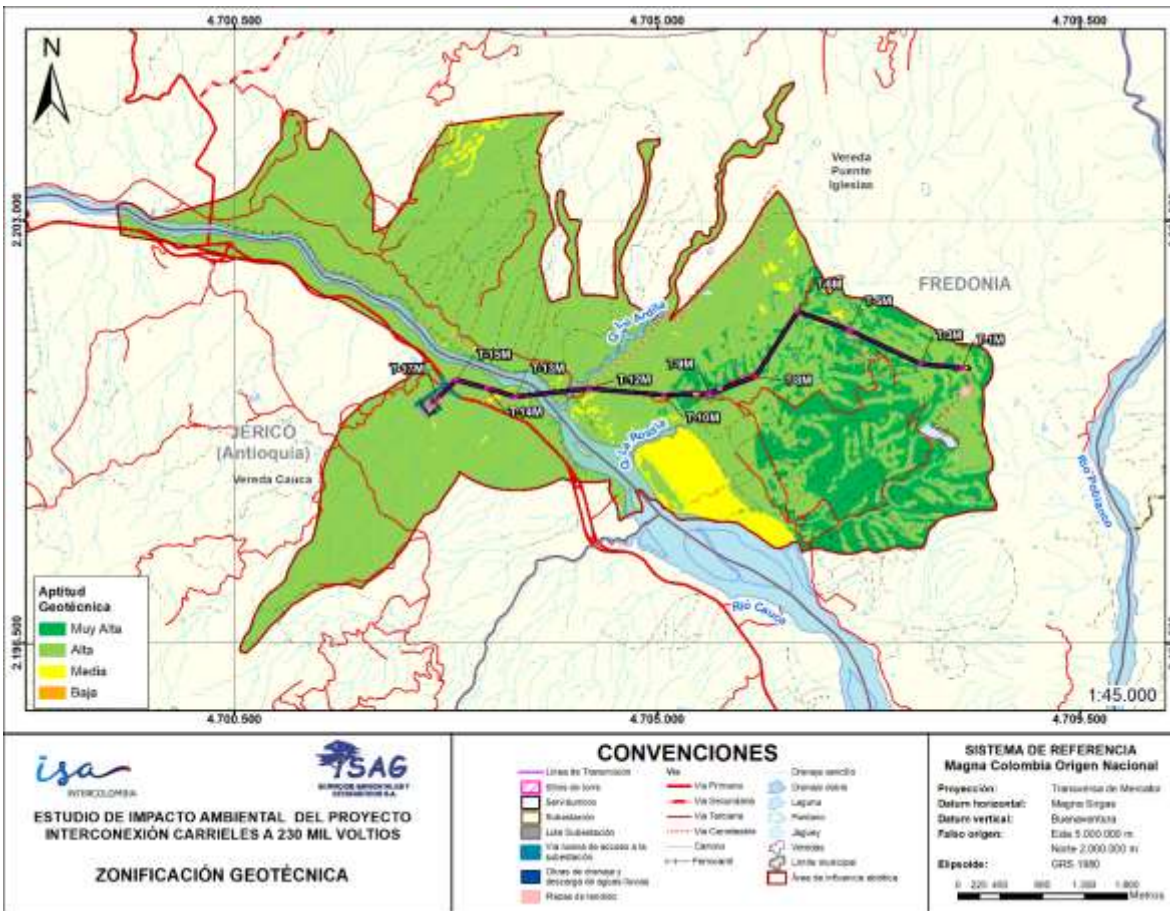


Figura 5-116. Zonificación de aptitud geotécnica.

Fuente: SAG, 2024

### 5.1.10.2 Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio

En este numeral se presenta la información específica sobre estabilidad de los sitios de cimentación de las torres y del sitio de construcción de la subestación, la cual incluye los estudios de exploración in situ y de laboratorio que permiten conocer la condición de estabilidad natural del terreno.

#### 5.1.10.2.1 Subestación

*5.1.10.2.1.1 La investigación geotécnica se realizó con el objetivo de determinar las características del suelo para el sitio donde se proyecta la Subestación Carrieles a 230 kV. Las muestras obtenidas durante las labores de exploración fueron sometidas a diferentes ensayos de laboratorio con el fin de conocer las características físicas y, en algunos casos, mecánicas del suelo y de las cuales se obtienen los parámetros de resistencia y diseño. Estudio Pórtico SE Carrieles*

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.70 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-143 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional del sondeo 9 y sondeo 10 para el Pórtico SE.




**Tabla 5-143. Localización sondeos Pórtico SE.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
Pórtico SE	Sondeo 9	4702612,53	2201072,3
	Sondeo 10	4702612,53	2201072,3

*Fuente: JE JAIMES, 2023*

Con base en los trabajos de campo ejecutados en octubre de 2022, por medio de dos (2) sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:






**Tabla 5-144. Perfil estratigráfico sondeo 9.**

ESTRUCTURA: PÓRTICO SE CARRIELES										O.T:		-				
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN					
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-					
0	1,6	160	1	15 cm	4	14	A-4	OL	23,3	MATERIAL ORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD						
				30 cm	6											
				45 cm	8											
1,6	3,1	150	2	15 cm	3	14	A-4	CL-ML	31,1	MATERIAL LIMO-ARCILLOSO NEGRO CON VETAS CAFÉ OSCURO. CONSISTENCIA MEDIA						
				30 cm	4											
				45 cm	10											
			3	15 cm	5	16					-	-	-	-	-	
				30 cm	6											
				45 cm	10											
3,1	4,4	130	4	15 cm	25	40	A-2-4	SC-SM	46,8	ARENA LIMO-ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO CON GRAVILLA TM 3/8"						
				30 cm	22											
				45 cm	18											
4,4	6,3	190	5	15 cm	14	38	A-4	CL	54,2	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ OSCURO CON ALTA HUMEDAD NATURAL Y PRESENCIA DE ARENAS						
				30 cm	18											
				45 cm	20											
			6	15 cm	17	47					-	-	-	-	-	
				30 cm	21											
				45 cm	26											
6,3	7,7	140	7	15 cm	38	99	A-6	CL	44,1	ARCILLA CAFÉ OSCURO CON VETAS NEGRAS. CONSISTENCIA ALTA. CON UN 20% DE GRAVAS DE TAMAÑO MÁXIMO 1"						
				30 cm	49											
				45 cm	50											

Fuente: JE JAIMES, 2023



**Tabla 5-145. Perfil estratigráfico sondeo 10.**

ESTRUCTURA: PÓRTICO SE CARRIELES						O.T: -					
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	1,5	152	1	15 cm	2	6	A-4	OL	27,3	MATERIAL ORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD	
				30 cm	3						
				45 cm	3						
1,5	3,1	153	2	15 cm	6	15	A-4	CL-ML	36,3	LIMO-ARCILLOSO NEGRO CON CAFÉ OSCURO Y PARTICULAS DE GRAVA CON TAMAÑO DE 1"	
				30 cm	9						
				45 cm	6						
			3	15 cm	8	22					
				30 cm	8						
				45 cm	14						
3,1	4,3	125	4	15 cm	21	49	A-2-4	SC-SM	44,1	ARENA LIMO-ARCILLOSA DE CONSISTENCIA BLANDA COLOR CAFÉ OSCURO	
				30 cm	23						
				45 cm	26						
4,3	6,3	203	5	15 cm	23	35	A-4	CL	48,1	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD Y ALTA HUMEDAD NATURAL CON PRESENCIA DE ARENAS	
				30 cm	17						
				45 cm	18						
			6	15 cm	19	47					
				30 cm	23						
				45 cm	24						
6,3	7,6	129	7	15 cm	33	44	A-6	CL	39,4	ARCILLA CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE GRAVAS DE HASTA 1"	
				30 cm	44						
				45 cm	RECHAZO						

*Fuente: JE JAIMES., 2023*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

# CORRELACIONES

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la comprensión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50
4-8	Media	Se requiere un esfuerzo moderado para penetrar varios cm con el pulgar	17-20	50-100
8-16	Rigido	Se identifica fácilmente con el pulgar	19-22	100-200
16-32	Muy Rigido	Se identifica con la uña del pulgar	19-22	200-400
>32	Duro	Difícil de rayar con la uña del pulgar	19-22	>400

**Figura 5-117. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ins. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.1.1.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg
  - Granulometría
  - Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.1.2 *Estudio subestación Carrieles*

A través del plan de exploración realizado por la empresa INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A.<sup>149</sup>, se efectuaron un total de 12 sondeos y seis (6) apiques para la zona identificada en el área de influencia del proyecto. Estos sondeos sirvieron para definir los espesores de los materiales existentes, recuperación de muestras representativas por medio de recuperación continua para proceder a los respectivos laboratorios, con el fin de caracterizar dicha zona. A continuación, se muestran las cantidades de sondeos para la exploración geotécnica.

<sup>149</sup> INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A. Convocatoria Pública UPME 03 2021 Nueva Subestación Carrieles 230 Kv: Informe de Estudio de Suelos. Bogotá. 2022

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-146. Cantidad mínima y profundidad de sondeos en el área de la subestación.**

SONDEO. 6 m	SONDEO. 8 m	SONDEO. 12 m	APIQUE 1.5 m
10	-	2	4

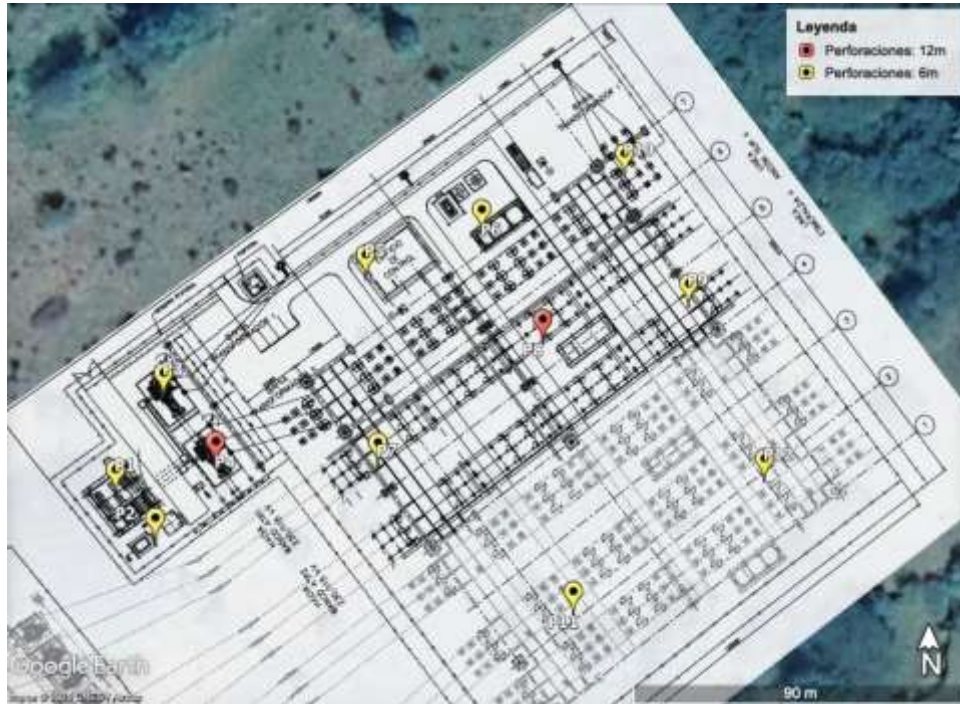
Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021

En el proceso de exploración se adelantó el ensayo de penetración estándar para establecer un índice complementario de la resistencia del subsuelo. En la Tabla 5-147, Figura 5-118 y Figura 5-119 se muestra la ubicación de los sondeos y apiques.

**Tabla 5-147. Localización de sondeos y apiques.**

No.	Tipo	Sondeo	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Profundidad (m)
			N	E	
1	Sondeo	S1	2201015	4702476	2,30
2	Sondeo	S2	2201003	4702486	3,80
3	Sondeo	S3	2201039	4702488	1,80
4	Sondeo	S4	2201022	4702500	4,50
5	Sondeo	S5	2201069	4702538	1,50
6	Sondeo	S6	2201516	4707038	1,80
7	Sondeo	S7	220102	4702541	2,50
8	Sondeo	S8	2202584	4701055	0,60
9	Sondeo	S9	221053	4702023	1,00
10	Sondeo	S9A	2201053	470223	0,50
11	Sondeo	S10	2201096	4702606	2,00
12	Sondeo	P11	2200982	4702592	0,65
13	Sondeo	P12	2201016	4702643	1,15
14	Apique	AP2	2201104	4702570	0,50
15	Apique	AP3	2201022	4702003	0,50
16	Apique	AP4	2201438	4707802	0,75
17	Apique	AP5	2201019	4702569	0,50

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021



**Figura 5-118. Localización exploración directa (sondeos).**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

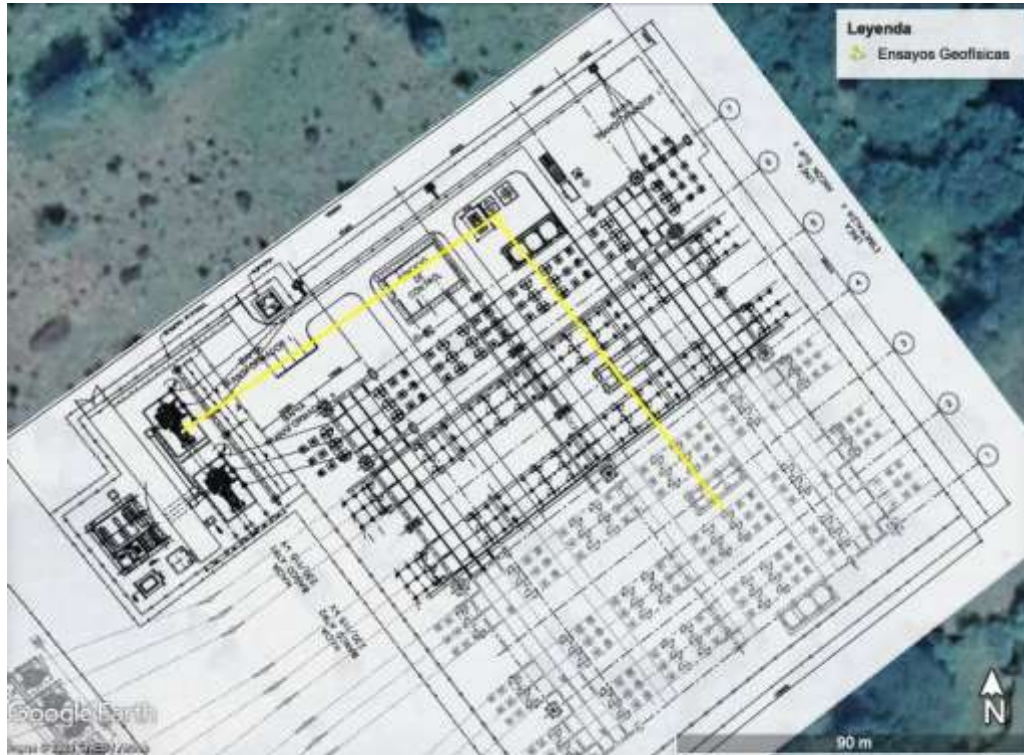


**Figura 5-119. Localización exploración directa (apiques).**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

Como resultado final para el plan de exploración de la Subestación Carreles a 230 kVE, se propuso la realización de 12 sondeos junto con seis (6) apiques brindando así la información necesaria para una correcta interpretación del material de cimentación para las estructuras de la subestación. De igual manera, se consideró la realización de los apiques en los sitios de sondeo donde se presente rechazo por SPT o se presentaran condiciones de suelo muy firme o donde se hiciera necesario la realización del apique para caracterizar el suelo en cuestión.

De igual manera, dentro de este plan de exploración se propuso la realización de ensayos geofísicos en el lote de Subestación Carreles a 230 kV. Los ensayos geofísicos se plantearon ejecutar en el predio que se dispone para la construcción de la subestación. Preliminarmente, se indican a continuación las líneas mediante las cuales se planteó el objetivo de conocer en profundidad la zona de la subestación y caracterizar el suelo preliminarmente. Ver Figura 5-120.



**Figura 5-120. Localización ensayos geofísicos.**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

#### 5.1.10.2.1.2.1 Ensayos de campo

Durante el proceso de perforación se realizó el ensayo de penetración estándar - SPT según la norma ASTM D1586. A continuación, se presenta en la Tabla 5-148 el perfil estratigráfico encontrado en cada uno de los sondeos, junto con los resultados del ensayo SPT de campo.

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de perforación se realiza el ensayo SPT. Este consiste en ingresar al hueco de perforación un tubo partido conectado a una tubería de perforación que luego es golpeada por un martillo con peso y dimensiones estandarizadas. A través de este montaje se busca realizar un avance de 0,45 m en tres (3) avances de 0,15 m donde en cada avance se contará el número de golpes de martillo efectuados. El primer avance se toma como el avance de penetración de asentamiento, mientras que la suma de los golpes del segundo y tercer avance se llama resistencia a la penetración normal y se toma como el valor de N de campo.

Este ensayo se dio como finalizado cuando se logró realizar el avance de 0,45 m en tres (3) diferentes avances o se presentó alguna de las siguientes condiciones:

- Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres (3) avances de 0,15 m.
- Que se haya aplicado un total de 100 golpes para un avance de 0,30 m.
- Que no se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.

A partir de estos criterios se obtuvo el siguiente registro de perforación de campo, donde expone la descripción realizada por parte de los perforadores, así como el número de muestra y número de golpes para cada una de ellas. Ver Tabla 5-148.

**Tabla 5-148. Resultados ensayos de campo.**

Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
P1	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica de color café.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla con matriz limosa.	2	23	-
	1,00	1,50	Arcilla limosa con gravas.	3	50	-
	1,50	2,00	Limo arenoso con arcilla	4	41	-
	2,00	2,30	Limo arenoso con gravas.	5	50	-
P2	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica de color café.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla con limo arenoso y gravas.	2	12	-
	1,00	1,50	Arcilla con gravas y limo.	3	17	-
	1,50	2,00	Arcilla limosa de consistencia blanda.	4	33	-
	2,00	2,50	Arcilla con limo de consistencia blanda.	5	45	-
	2,50	3,00	Arcilla con limo de color marrón.	6	49	-
	3,00	3,50	Arcilla limo arenosa.	7	55	-
	3,50	3,80	Arcilla limosa de consistencia dura.	8	50	-
P3	0,00	0,50	Arcilla plástica con matriz orgánica.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla limo arenosa con grava.	2	15	-
	1,00	1,50	Arcilla limo arenosa con gravas.	3	55	-
	1,50	1,80	Arcilla limo arenosa con gravas.	4	50	-
P4	0,00	0,50	Arcilla con algo de limo color café.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	2	12	-



Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
	1,00	1,50	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	3	20	-
	1,50	2,00	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	4	24	-
	2,00	2,50	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	5	36	-
	2,50	3,00	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	6	39	-
	3,00	3,50	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	7	43	-
	3,50	4,00	Arcilla de consistencia blanda color marrón.	8	43	-
	4,00	4,50	Arcilla de consistencia dura.	9	50	-
P5	0,00	0,50	Arcilla con algo de limo color marrón.	1		-
	0,50	1,00	Arcilla con algo de limo de color marrón.	2	27	-
	1,00	1,50	Arcilla con algo de limo y gravas.	3	50	-
P6	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica y algo de grava.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla con matriz orgánica, limo y grava.	2	17	-
	1,00	1,50	Arcilla limosa de color marrón.	3	25	-
	1,50	1,80	Arcilla con limo y gravas.	4	50	-
P7	0,00	0,50	Arcilla limosa con material orgánico.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla limosa arenosa con matriz orgánica.	2	18	-
	1,00	1,50	Arcilla limo arenosa con algo de gravas.	3	32	-
	1,50	2,00	Arcilla limo arenosa con gravas.	4	59	-
	2,00	2,50	Arcilla limo arenosa con gravas.	5	50	-
P8	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica, limo y gravas.	1	50	-
P9	0,00	0,50	Arcilla orgánica de consistencia blanda de color café.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla limo arcillosa de consistencia dura.	2	50	-
P9A	0,00	0,50	Arcilla limo arenosa con matriz orgánica.	1	50	-

Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
P10	0,00	0,50	Arcilla con algo de limo color café claro.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla con algo de limo de color café claro.	2	13	-
	1,00	1,50	Arcilla de color café claro.	3	32	-
	1,50	2,00	Arcilla de color marrón de consistencia dura.	4	50	-
P11	0,00	0,50	Arcilla limo arenosa con gravas de color café.	1	-	-
	0,50	0,65	Arcilla limosa con gravas.	2	50	-
P12	0,00	0,50	Arcilla limo arenosa con matriz orgánica y algo de grava.	1	-	-
	0,50	1,00	Arcilla limo arenosa con gravas.	2	40	-
	1,00	1,15	Arcilla limosa con gravas.	3	50	-
AP2	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica de 20 cm de espesor con gravas y limo.	1	-	-
AP3	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica de 3 cm de espesor de consistencia media, plasticidad y humedad medias con presencia de vetas de 30 cm de espesor de color café.	1	-	-
AP4	0,00	0,75	Arcilla con matriz orgánica de 25 cm de espesor de limo y arenisca de consistencia blanda.	1	-	-
AP5	0,00	0,50	Arcilla con matriz orgánica y algo de gravas.	1	-	-

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

#### 5.1.10.2.1.2.2 Ensayos de laboratorio

Luego de haber realizado las labores y ensayos de campo, se pasó a realizar los ensayos de laboratorio. Estos ensayos de laboratorio se realizan con el objetivo de caracterizar física y mecánicamente los materiales encontrados durante las jornadas de exploración realizadas. Las muestras obtenidas fueron identificadas visualmente en campo y descritas detalladamente. Los ensayos de laboratorio se realizaron sobre las muestras recuperadas en campo.

En la Tabla 5-149 se relacionan el tipo y cantidad de ensayos realizados sobre las muestras extraídas, donde se verifica el tipo de muestra extraída para la ejecución de ensayos de clasificación y caracterización de los suelos presentes en la zona de estudio del proyecto.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-149 Cantidades de ensayos.**

<b>Ensayo</b>	<b>Cantidad</b>
Humedad natural	50
Peso unitario	25
Granulometría	50
Clasificación (Limites de Atterberg)	50

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021.*

A continuación, en la Tabla 5-150 se exponen los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

**Tabla 5-150. Resultados de ensayos.**

Sondeo	M.	Profundidad (m)		Yt (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Granulometría (%)			UCS
		Inicio	Fin							G	A	F	
P1	1	0,00	0,50	-	27,72	95,67	45,75	49,92	-0,36	1,54	7,22	91,25	MH
	2	0,50	1,00	16,39	20,15	82,97	38,36	44,61	-0,41	2,07	4,57	93,36	MH
	3	1,00	1,50	-	16,14	73,8	35,65	38,15	-0,51	29,63	25,29	45,09	GM - MH
	4	1,50	2,00	16,78	13,49	67,31	30,71	36,6	-0,47	45,13	26,57	28,31	GC - CH
	5	2,00	2,30	-	9,45	-	-	-	-	52,13	27,62	20,24	GM
P2	1	0,00	0,50	-	38,29	67,4	34,63	32,77	0,11	0	9,9	90,1	MH
	2	0,50	1,00	17,43	11,53	67,48	31,39	36,09	-0,55	64,24	16,01	19,75	GC - CH
	3	1,00	1,50	18,33	13,41	62,81	32,64	30,17	-0,64	57,13	16,6	26,27	GM - MH
	4	1,50	2,00	17,94	22,42	45,15	22,48	22,67	0,00	0	2,78	97,22	CL
	5	2,00	2,50	-	18,12	38,41	19,4	19,01	-0,07	0	0,02	99,98	CL
	6	2,50	3,00	-	17,81	48,46	21,93	26,53	-0,16	0	0,8	99,2	CL
	7	3,00	3,50	-	18,03	32,37	15,52	16,85	0,15	0	0,03	99,97	CL
	8	3,50	3,80	-	15,7	33,1	15,28	17,82	0,02	0	0,02	99,98	CL
P3	1	0,00	0,50	-	43,11	79,08	32,73	46,35	0,22	0	5,89	94,11	CH
	2	0,50	1,00	15,62	31,02	73,59	26,74	46,85	0,09	6,25	14,32	79,43	CH
	3	1,00	1,50	-	24,34	51,58	26,58	25	-0,09	0	0,05	99,95	CH
	4	1,50	1,80	20,42	20,31	-	-	-	-	32,73	21,19	46,08	GM

Sondeo	M.	Profundidad (m)		Yt (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Granulometría (%)			UCS
		Inicio	Fin							G	A	F	
P4	1	0,00	0,50	-	105,52	89,41	33,87	55,54	1,29	32,04	5	62,96	CH
	2	0,50	1,00	14,90	28,32	77,08	27,63	49,45	0,01	0	1,49	98,51	CH
	3	1,00	1,50	-	21,87	58,95	19,54	39,41	0,06	0	1,35	98,65	CH
	4	1,50	2,00	16,98	17,25	44,25	16,07	28,18	0,04	0	1,21	98,79	CL
	5	2,00	2,50	-	16,14	40,38	18,66	21,72	-0,12	0	0,95	99,05	CL
	6	2,50	3,00	19,37	18,77	42,78	21,45	21,33	-0,13	0	1,25	98,75	CL
	7	3,00	3,50	-	22,39	47,32	20,4	26,92	0,07	0	0,03	99,97	CL
	8	3,50	4,00	19,93	21,8	54,24	21,44	32,8	0,01	0	0,03	99,97	CH
	9	4,00	4,50	-	15,32	54,9	20,66	34,24	-0,16	0	0,01	99,99	CH
P5	1	0,00	0,50	-	41,81	79,5	40,52	38,98	0,03	13,03	13,51	73,46	MH
	2	0,50	1,00	16,06	27,68	86,18	33,37	52,81	-0,11	9,36	12,56	78,08	CH
	3	1,00	1,50	-	21,94	63,54	27,59	35,95	-0,16	5,57	17,33	77,1	CH
P6	1	0,00	0,50	-	24,65	87,06	33,53	53,53	-0,17	31,48	5,25	63,27	CH
	2	0,50	1,00	15,99	29,23	92,46	36,57	55,89	-0,13	15,9	18,25	65,84	CH
	3	1,00	1,50	15,93	23,14	63,54	26,54	37	-0,09	7,58	18,23	74,19	CH
	4	1,50	1,80	17,40	14,586	-	-	-	-	30,08	11,22	57,98	
P7	1	0,00	0,50	-	32,31	83,17	32,63	50,54	-0,01	0,2	6,29	93,52	CH
	2	0,50	1,00	17,03	31,91	87,66	31,6	56,06	0,01	0,49	6,17	93,34	CH
	3	1,00	1,50	18,81	12,84	78,32	35,55	42,77	-0,53	48,11	26,09	25,81	GC - CH
	4	1,50	2,00	16,44	19,08	-	-	-	-	29,14	30,71	40,15	SM

Sondeo	M.	Profundidad (m)		Yt (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Granulometría (%)			UCS
		Inicio	Fin							G	A	F	
			5							2,00	2,50	-	
P8	1	0,00	0,50	16,20	23,96	46,73	24,36	22,37	-0,02	51,3	7,94	40,75	GC - CL
P9	1	0,00	0,50	-	35,48	87,74	36,74	51	-0,02	13,8	12,74	73,46	CH
	2	0,50	1,00	15,62	29,71	95,42	38,5	56,92	-0,15	14,37	13,88	71,75	CH
P9A	1	0,00	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P10	1	0,00	0,50	-	49,22	87,44	43,7	43,74	0,13	2,25	7,09	90,66	MH
	2	0,50	1,00	15,72	23,15	58,83	25,74	33,09	-0,08	9,23	12,06	78,71	CH
	3	1,00	1,50	15,02	30,32	56,51	32,58	23,93	-0,09	15,71	14,82	69,47	MH
	4	1,50	2,00	19,36	19,89	59,72	28,73	30,99	-0,29	33,4	8,31	58,3	CH
P11	1	0,00	0,50	-	23,25	36,54	22,81	13,73	0,03	31,89	20,1	48,01	GC - CL
	2	0,50	0,65	16,77	18,69	-	-	-	-	36,14	30,73	33,13	GM
P12	1	0,00	0,50		40,14	87,74	33,17	54,57	0,13	1,76	6,32	91,92	CH
	2	0,50	1,00	18,81	27,71	-	-	-	-	26,93	16,44	56,63	
	3	1,00	1,15	-	16,45	78,9	34,56	44,34	-0,41	47,99	19,41	32,61	GC - CH
AP2	1	0,00	0,50	18,74	-	-	-	-	-	-	-	-	
AP3	1	0,00	0,50	-	41,7	74	38	36	0,10	16,03	6,84	77,13	MH
AP3*	1	0,00	0,50	-	25,9	74	29	45	-0,07	0	1,41	98,59	CH
AP5	1	0,00	0,50	-	36,6	64	30	34	0,19	0	13,5	86,5	CH



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN  
CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



Rev. No.: 4

2024-08-08

Sondeo	M.	Profundidad (m)		Yt (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Granulometría (%)			UCS
		Inicio	Fin							G	A	F	
AP6	1	0,00	0,50	-	26,6	63	29	34	-0,07	2,8	7,04	90,15	CH
AP22	1	0,00	0,50	18,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP23	1	0,00	0,80	-	42,5	74	28	46	0,32	4,29	3,11	92,61	CH
AP25	1	0,00	0,50	-	42,5	64	32	32	0,33	14,23	5,39	80,38	CH
AP115-01	1	0,00	0,75	-	31,6	60	29	31	0,08	9,39	10,32	80,29	CH
AP115-01	1	0,00	0,50	-	30,1	71	29	42	0,03	34,14	9,37	56,5	CH
AP115-02	1	0,00	0,75	-	40,5	52	32	20	0,43	0	9,95	90,05	MH
AP115-02	1	1,00	2,00	-	30,4	51	29	22	0,06	0	17,26	82,74	CH
AP115-03	1	0,00	0,50	17,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A través de estos resultados se pudo evidenciar, en primera instancia, que en general las muestras de suelo recolectadas se encuentran conformadas en su mayoría por material fino. Por medio de los ensayos de granulometría se evidencia que generalmente todos los sondeos presentaron un porcentaje de material fino mayor al 70%, excepto en el sondeo 2 donde siempre se reportaron valores mayores al 20% - 30% a unas profundidades entre 1,0 y 1,5 m. De igual manera, a través de los ensayos de clasificación se pudieron evidenciar límites líquidos dentro del rango de 50 – 80 e índices de plasticidad dentro del rango de 30 – 50. A partir de estos resultados se podría sugerir, en primer lugar, que el suelo encontrado en el área de interés tendría un comportamiento cohesivo, esto según las especificaciones de la NSR-10 en su numeral H.2.5.

#### 5.1.10.2.1.2.2.1 *Índice de liquidez*

También conocido como la Relación Agua-Plasticidad, el Índice de Liquidez - IL es el índice utilizado para medir a escala el contenido de humedad natural de una muestra de suelo, respecto de los límites líquido y plástico (indirectamente sirve para tener una medida aproximada de la resistencia del material), siendo definido como:

$$IL = \frac{w_n - LP}{IP}$$

donde  $w_n$  es el contenido de humedad natural (el encontrado en campo o en estado natural) de la muestra en cuestión. IL compara el contenido natural de humedad que presenta un suelo en el campo con LL y LP, y es un excelente indicador de la historia geológica y las propiedades relativas del suelo.

IL contribuye a evaluar el grado de desecación comparativo en diferentes muestras de suelo, reduciendo la variación debida a la litología, al escalar el contenido de humedad respecto de la plasticidad. También, el índice de liquidez - IL, refleja los efectos del contenido de humedad sobre una muestra de suelo remoldeada y saturada.

En este caso y de acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 5-150, la mayoría de los valores que se encuentran menores a cero (0) el material puede inferir que el suelo presente en el área puede tener una fractura rígida al ser sometido a cargas, porque el contenido natural de humedad  $w_n$  es menor que el límite plástico - LP. En este caso el suelo estará en estado sólido a semi-sólido.

#### 5.1.10.2.1.2.3 *Ensayos geofísicos*

En siguiente sección se presenta la campaña de exploración geofísica realizada para la construcción de la Subestación Carrieles a 230 kV, la cual tiene los siguientes objetivos:



- Establecer un modelo simplificado de la velocidad de onda P que permita identificar la extensión lateral y en profundidad de los distintos materiales que componen el subsuelo en la zona de estudio del proyecto (Subestación Carrieles a 230 kV).
- Establecer las velocidades de onda S promedio que permitan identificar cambios de material y propiedades a bajas deformaciones.
- Definir el tipo de perfil del suelo según la normativa colombiana sismo resistente - NSR 10, a partir del perfil de velocidades Vs.

La campaña de exploración consistió en la ejecución de dos (2) líneas sísmicas con medición de ondas superficiales y ReMi, los dos (2) tendidos se realizaron con una longitud de 92 m y una separación cada 4,0 metros.

Las coordenadas de inicio y fin de cada una de las líneas se muestran en la Tabla 5-151.

**Tabla 5-151. Localización líneas de refracción.**

Línea	Inicio		Fin		Inicio		Fin		Longitud
	Coordenadas geográficas WGS 84				Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional				
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	
1	W75°41'12,4"	N5°48'48,3"	W75°41'10,2"	N5°48'46,8"	4702565,336	2201076,634	4702631,595	2201032,071	90
2	W75°41'12,7"	N5°48'48,4"	W75°41'14,4"	N5°48'46,0"	4702554,258	2201076,686	4702509,63	2201010,527	90

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021

Como aspecto general, durante la adquisición de datos no se emplearon filtros especiales para la reducción del ruido ambiental ni se emplearon ganancias particulares en los canales empleados.

**Tabla 5-152. Parámetros de adquisición de los registros para el ensayo de refracción sísmica.**

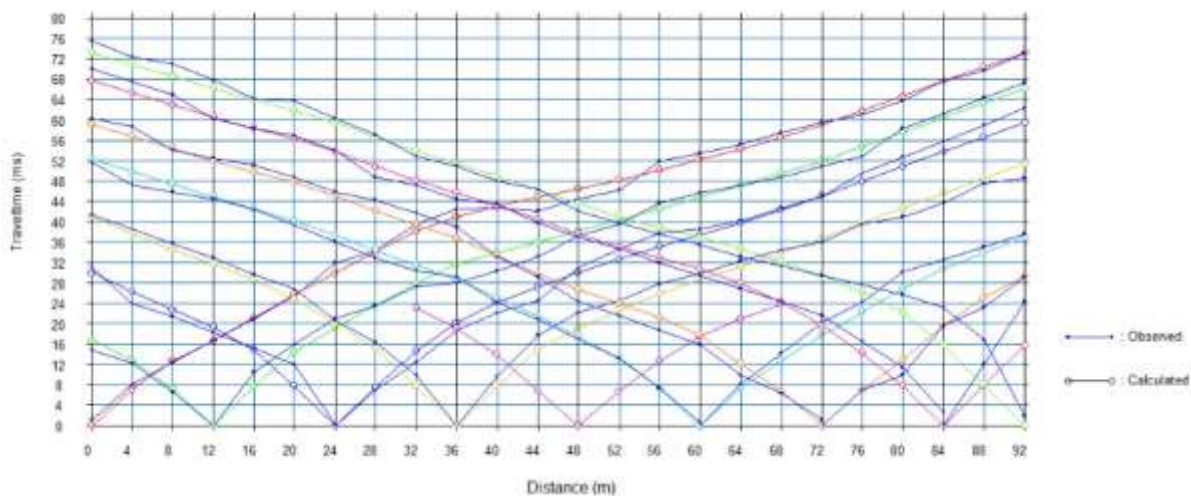
Descripción	Valor
Separación entre canales b (m)	3,0
Longitud de la línea s (m)	90
Intervalo de muestreo (ms)	0,5
Longitud registro sísmico (ms)	1000
Apilado de señales	3

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

#### 5.1.10.2.1.2.3.1 LSR 1

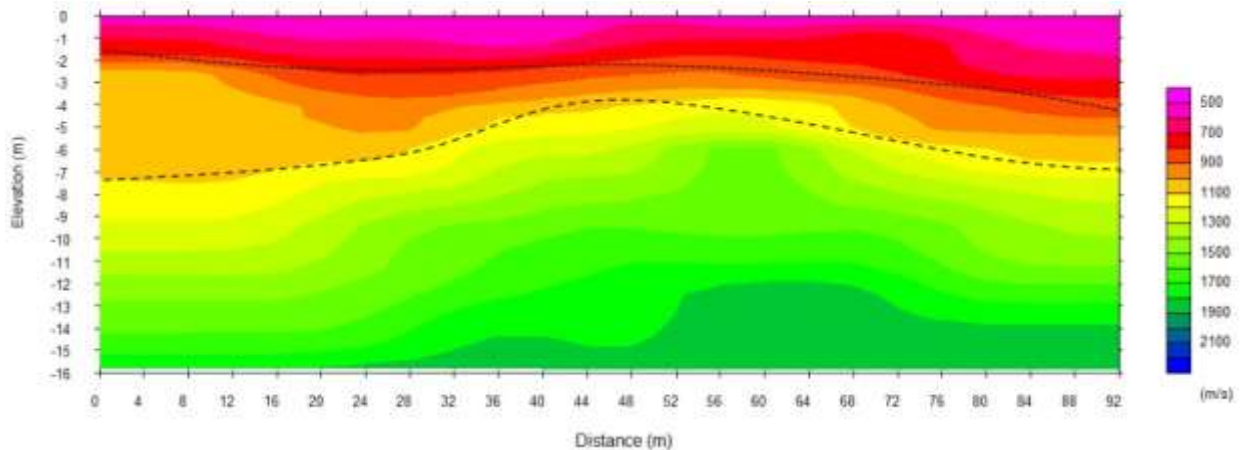
La línea sísmica de refracción se realizó con una longitud total de 92 m con separación de los geófonos cada 4,0 m. De los registros de tiempos de arribo se obtuvo la tomografía de ondas compresionales Vp, en donde se identificaron cambios importantes de velocidad asociados a los materiales del sub-suelo según la geología del sitio.

- Desde la superficie hasta una profundidad de 2 m se tiene una capa con una velocidad Vp de 600 m/s, la cual se asocia al suelo residual compuesto por arcilla con arena de consistencia blanda a media.
- Desde 2 m hasta 7/4 m se identifica una capa con velocidad de 1000 m/s, asociado un depósito de vertiente compuesto de gravas en matriz arcillosa.
- A partir de los 7/4 m hasta el final de la exploración se presenta una capa con velocidades desde 1000 hasta 1900 m/s, la cual se asocia a un depósito de vertiente con mayor antigüedad.



**Figura 5-121. Domocronas LSR-1.**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

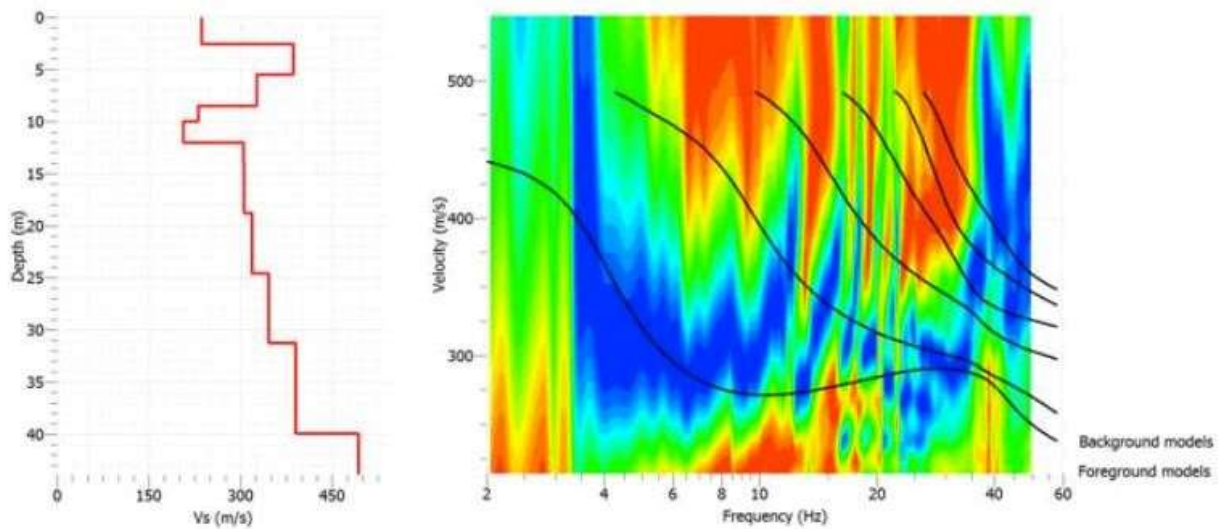


**Figura 5-122. Tomografía por el ensayo de refracción - Línea Sísmica 1 (Unidades en m/s y m).**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

En el arreglo de la línea sísmica se tomaron las mediciones de ondas superficiales para la construcción un perfil 1D de las velocidades de corte  $V_s$  y un perfil 2D, se pueden inferir las siguientes características del perfil del suelo:

- Primera capa desde la superficie hasta la profundidad de 2,5 m con velocidades de onda de 235 m/s, la cual se asocia al suelo residual de arcilla arenosa con consistencia media.
- Segunda capa desde los 2,5 m hasta 8,5 m con una velocidad de onda  $V_s$  promedio de 356 m/s, que se asocia a un depósito de vertiente compuesto de bloques en matriz arcillosa.
- La tercera capa desde 8,5 hasta los 12 m con una velocidad de onda  $V_s$  promedio de 218 m/s, asociada al depósito vertiente con menor cantidad de clastos y bloques y mayor proporción de matriz arcillosa.
- A partir de los 12 m la velocidad incrementa desde 304 hasta 450 m/s, lo cual se asocia a un incremento de rigidez del depósito en profundidad hasta los 40 m donde se puede asociar el incremento de velocidad a la presencia del basamento rocoso de la Formación Amagá.



**Figura 5-123 Perfil 1D LSR-1 (Unidades en m/s y m).**

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021

La velocidad de onda de corte Vs30 es de 300 m/s correspondiente a un perfil de suelo D, perfil de suelo rígido. Esto obtenido a partir de la siguiente fórmula, estipulada en la NSR-10.

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Donde:

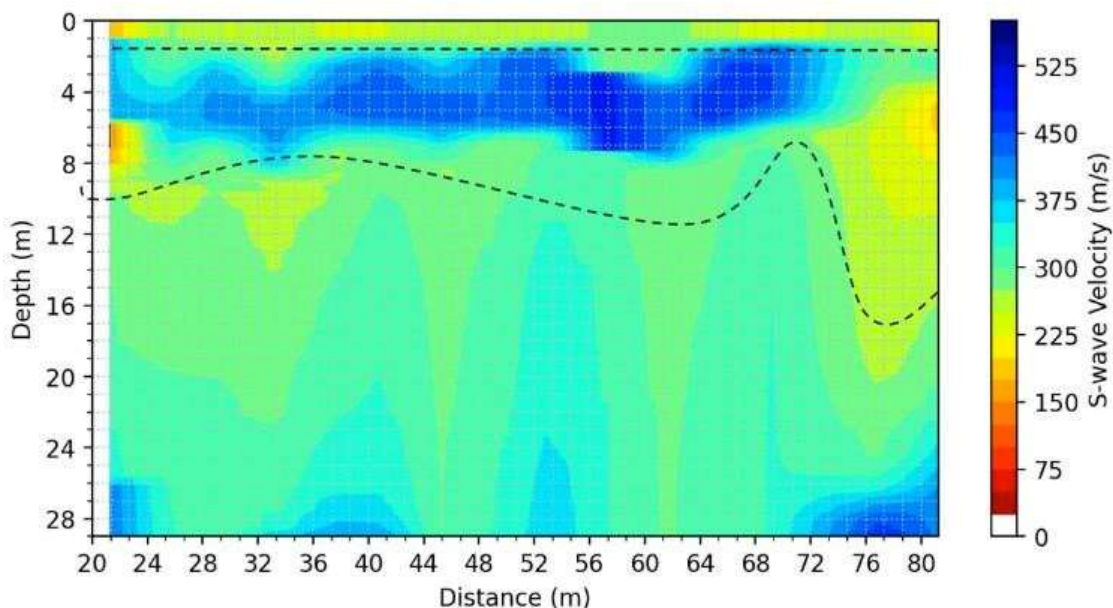
- Vsi = Velocidad media de la onda cortante del suelo del estrato i.
- di = Espesor del estrato i, localizado en los primeros 30 m superiores del perfil.
- $\sum_{i=1}^n d_i = 30$  m, siempre.

**Tabla 5-153 Vs30 Línea de refracción sísmica 1.**

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
0,0	2,5	2,5	235
2,5	5,5	3,0	386
5,5	8,5	3,0	326
8,5	10,0	1,5	231

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
10,0	12,0	2,0	206
12,0	13,9	1,9	304
13,9	18,8	4,9	305
18,8	24,6	5,8	318
24,6	31,2	6,7	346
		Vs30	300

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*



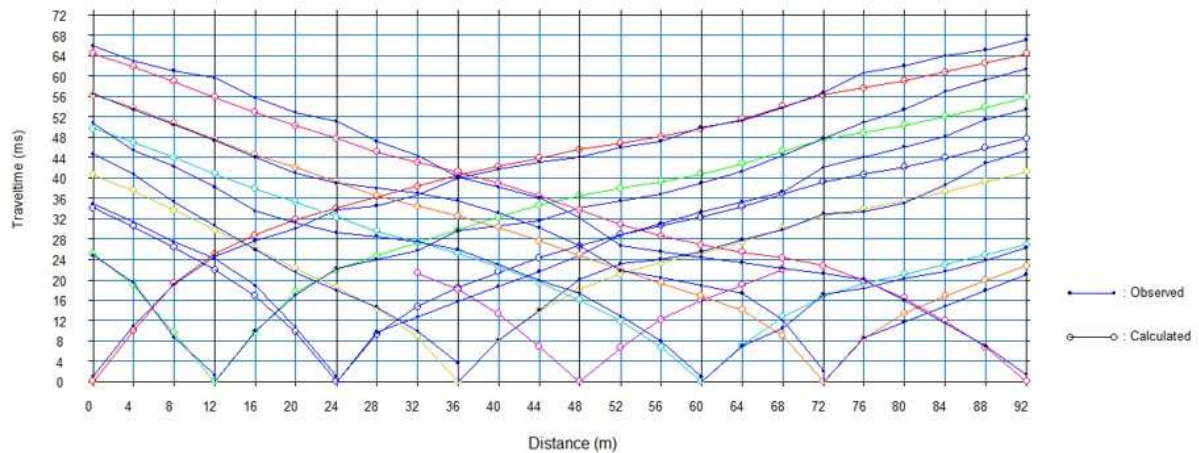
**Figura 5-124. Perfil 2D de velocidad de onda Vs.**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

#### 5.1.10.2.1.2.3.2 LSR 2

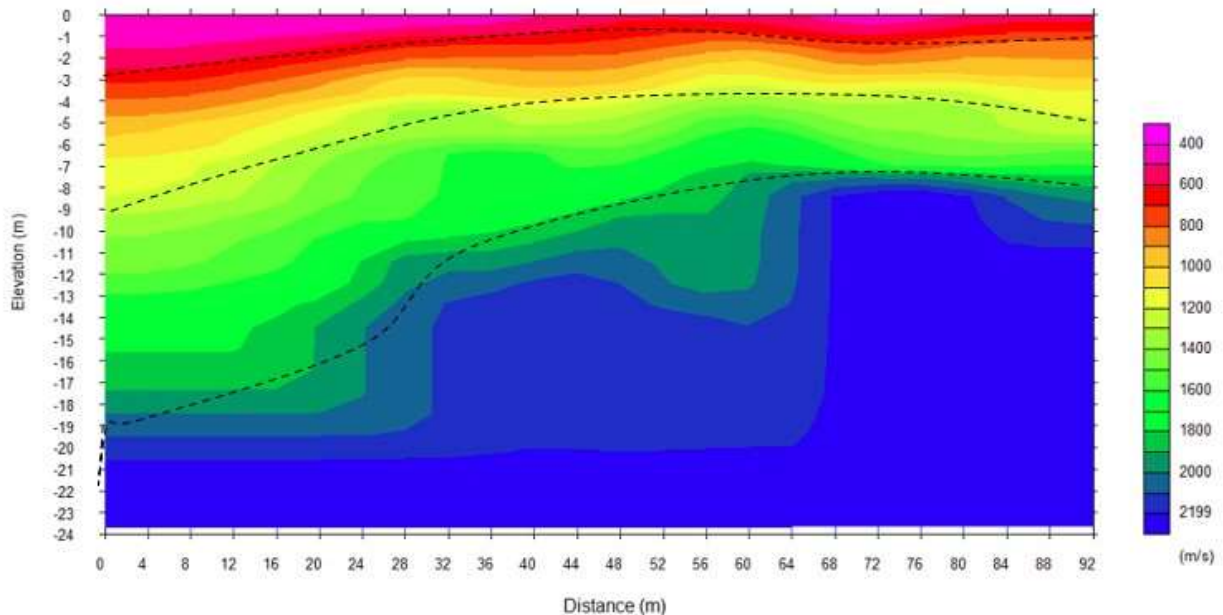
La línea sísmica de refracción se realizó con una longitud total de 92 m con separación de los geófonos cada 4,0 m. De los registros de tiempos de arribo se obtuvo la tomografía de ondas compresionales Vp, en donde se identificaron cambios importantes de velocidad asociados a cambios en las propiedades del subsuelo:

- Primera capa desde la superficie hasta 2/3 m con una velocidad de 400 a 500 m/s, asociada al suelo residual encontrado en la perforación compuesto por arcillas con arena de consistencia blanda a media.
- La segunda capa tiene una velocidad  $V_p$  de 600 a 1200 m/s, con un espesor variable de 4 m hasta 6 m en la parte inicial del arreglo, esta capa se asocia a un depósito de ladera compuesto por bloques de arenisca en matriz arcillosa, los cuales presentan rechazo en la perforación.
- Tercera capa desde 5/9 m con espesor variable de 4 hasta 10 m con una velocidad onda  $V_p$  de 1600 m/s.
- Cuarta capa desde 9/19 m con una velocidad  $V_p$  de 2000 m/s que se asocia al estrato rocoso, según la geología de la Formación Amagá.



**Figura 5-125. Domocronas LSR-2.**

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021

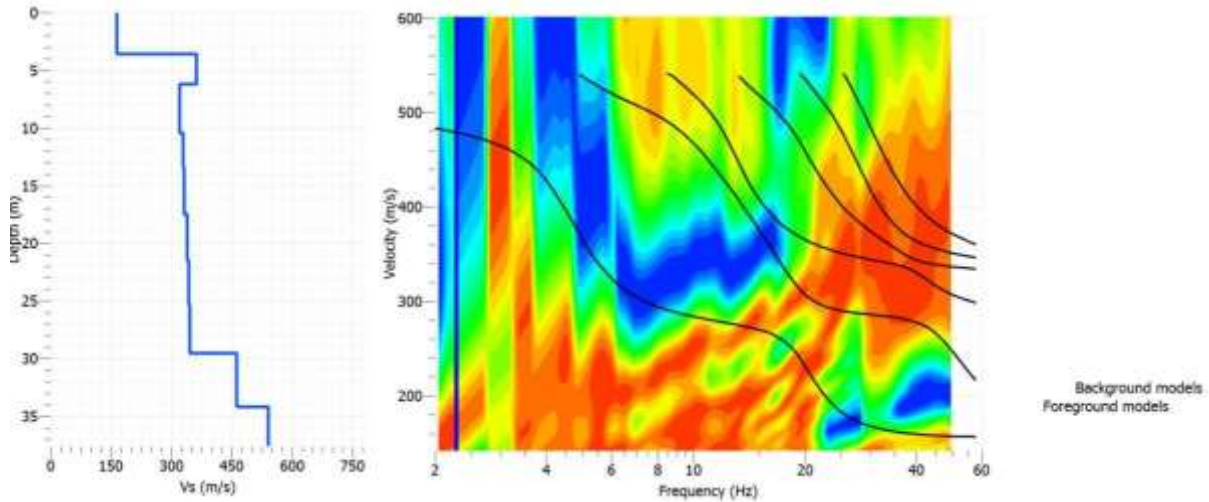


**Figura 5-126. Tomografía por el ensayo de refracción - Línea Sísmica 2 (Unidades en m/s y m).**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

En el arreglo de la línea sísmica se tomaron las mediciones de ondas superficiales para la construcción un perfil 1D y 2D de las velocidades de corte Vs, el cual se observa:

- En la Primera capa desde la superficie hasta una profundidad de 3,6 m con velocidades de onda de 165 m/s, la cual se asocia al suelo residual de arcilla arenosa con consistencia media, explorada en las perforaciones.
- Segunda capa desde los 2,5m hasta 6.3 m con una velocidad de onda Vs promedio de 362 m/s, que se asocia a un depósito de vertiente compuesto de bloques en matriz arcillosa.
- La tercera capa desde 6,3 m hasta los 30 m con una velocidad de onda Vs promedio de 330 m/s, asociada al depósito de vertiente con menor cantidad de clastos y bloques y mayor proporción de matriz arcillosa.
- A partir de los 30 m la velocidad incrementa desde 300 hasta 463 m/s, lo cual se asocia a la presencia del basamento rocoso de la Formación Amagá.



**Figura 5-127. Perfil 1D LSR 2 (Unidades en m/s y m).**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

La velocidad de onda de corte Vs30 es de 301 m/s correspondiente a un perfil de suelo D, suelo muy denso.

Esto obtenido a partir de la siguiente fórmula, estipulada en la NSR-10.

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Donde:

- Vsi = Velocidad media de la onda cortante del suelo del estrato i.
- di = Espesor del estrato i, localizado en los primero 30 m superiores del perfil.
- $\sum_{i=1}^n d_i = 30$  m, siempre.

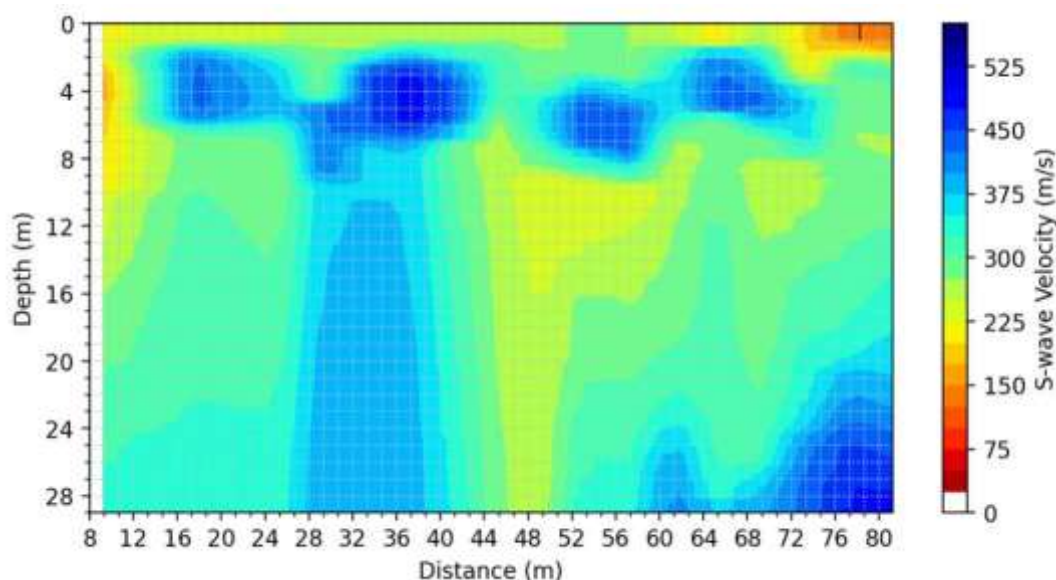
**Tabla 5-154. Vs30 Línea de refracción sísmica 2.**

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
0.0	3.6	3.6	165
3.6	6.2	2.6	362
6.2	10.5	4.3	320
10.5	13.4	2.9	330
13.4	17.5	4.1	331



Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
17.5	21.5	4.0	339
21.5	25.4	3.8	343
25.4	29.6	4.2	346
29.6	34.2	4.6	463
		VS30	301

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*



**Figura 5-128. Perfil 2D Velocidad de corte Vs.**

*Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2021*

#### 5.1.10.2.2 Torres

La investigación geotécnica se realiza con el objetivo de determinar las características del suelo para el sitio donde se proyectan los sitios de estructura. Las muestras obtenidas durante las labores de exploración fueron sometidas a diferentes ensayos de laboratorio con el fin de conocer las características físicas y en algunos casos mecánicas del suelo y de las cuales se obtienen los parámetros de resistencia y diseño.

#### 5.1.10.2.2.1 Estudios torres año 2023

##### 5.1.10.2.2.1.1 Estudio torre T-1M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8.0 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-155 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional del sondeo 7 y sondeo 8 para la torre T-1M.



**Tabla 5-155. Localización sondeos torre T-1M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-1M	Sondeo 7	4708240,49	2201430,1
	Sondeo 8	4708240,49	2201430,1

Fuente: JE JAIMES., 2023

Con base en los trabajos de campo ejecutados en mayo de 2023, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-156. Perfil estratigráfico sondeo 7.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T-1M							O.T: -				
PROFUNDIDAD [m]		ESPESO R CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-
0	0,46	46	1	15 cm	-	-	-	-	21,4	CAPA VEGETAL, MATERIAL ORGÁNICO	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
0,46	1,88	142	2	15 cm	-	-	A-4	CL-ML	41,5	LIMO ARCILLA CAFÉ CLARO Y AMARILLA CON VETAS CAFÉ OSCURO Y GRIS. PRESENCIA DE TERRONES DE ARCILLA DENSIFICADA.	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
			3	15 cm	19	31					
				30 cm	14						
				45 cm	17						
1,88	3,85	197	4	15 cm	16	41	A-4	CL	37,3	ARCILLA AMARILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON VETAS COLOR GRIS Y PRESENCIA DE 32% DE ARENAS.	
				30 cm	22						
				45 cm	19						
			5	15 cm	20	41					
				30 cm	21						
				45 cm	20						
3,85	8,00	415	6	15 cm	27	45	A-2-4	SM	22,8	ARENA LIMOSA DE COLOR AMARILLA Y CAFÉ CLARO CON TERRONES DENSIFICADOS.	
				30 cm	24						
				45 cm	21						
			7	15 cm	28	72					
				30 cm	34						
				45 cm	38						
			8	15 cm	39	83					
				30 cm	42						
				45 cm	41						

Fuente: JE JAIMES., 2023

**Tabla 5-157. Perfil estratigráfico sondeo 8.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T-1M										O.T: -			
PROFUNDIDAD [m]		ESPESO R CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN		
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-		
0	0,54	54	1	15 cm	-	-	-	-	21,4	CAPA VEGETAL, MATERIAL ORGÁNICO			
				30 cm	-								
				45 cm	-								
0,54	1,71	117	2	15 cm	-	-	-	-	35,9	LIMO ARCILLA CAFÉ CLARO CON VETAS CAFÉ OSCURO Y GRIS. CONSISTENCIA MEDIA			
				30 cm	-								
				45 cm	-								
			3	15 cm	16	28	-	-	-	-	-	-	-
				30 cm	15								
				45 cm	13								
1,71	3,43	172	4	15 cm	10	28	-	-	-	-			
				30 cm	12								
				45 cm	16								
			5	15 cm	17	31	-	-	-	-	-	-	-
				30 cm	17								
				45 cm	14								
3,43	8,00	457	6	15 cm	19	47	-	-	-	-			
				30 cm	21								
				45 cm	26								
			7	15 cm	28	74	-	-	-	-	-	-	-
				30 cm	36								
				45 cm	38								
			8	15 cm	35	67	-	-	-	-	-	-	-
				30 cm	37								
				45 cm	30								

*Fuente: JE JAIMES., 2023*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

# CORRELACIONES

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la comprensión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50
4-8	Media	Se requiere un esfuerzo moderado para penetrar varios cm con el pulgar	17-20	50-100
8-16	Rigido	Se identifica fácilmente con el pulgar	19-22	100-200
16-32	Muy Rigido	Se identifica con la uña del pulgar	19-22	200-400
>32	Duro	Difícil de rayar con la uña del pulgar	19-22	>400

**Figura 5-129. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia “ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR “SPT” – Autores ins. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.1.1.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg
  - Granulometría
  - Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.1.2 Estudio torre T-3M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.74 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-158 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-3M.

 <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <small>INTERCOLOMBIA</small>	
	Rev. No.: 4	2024-08-08





**Tabla 5-158. Localización sondeos torre T-3M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-3M	Sondeo 3	4707801,8	2201472,54
	Sondeo 4	4707801,8	2201472,54

Fuente: JE JAIMES., 2023

Con base en los trabajos de campo ejecutados en Mayo de 2023, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-159. Perfil estratigráfico sondeo 3**

PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA cm	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD %	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A			cm	#		Nº	AASHTO			
0	0,8	80	1	15 cm	-	-	-	-	23,5	CAPA VEGETAL, MATERIAL ORGÁNICO	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
0,8	4,7	360	2	15 cm	14	37	A-6	CL	28,5	ARCILLA AMARILLA CON HABANO DE BAJA PLASTICIDAD CON VETAS COLOR CAFÉ OSCURO Y GRIS. CONSISTENCIA MEDIA A FIRME	
				30 cm	20						
				45 cm	17						
			3	15 cm	21	39					
				30 cm	21						
				45 cm	18						
			4	15 cm	27	57					
				30 cm	32						
				45 cm	25						
4,7	6,8	210	5	15 cm	36	64	A-4	SM	16,3	ARENAS COLOR CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE PARTICULAS CONSOLIDADAS ARENISCAS.	
				30 cm	31						
				45 cm	33						
			6	15 cm	36	75					
				30 cm	37						
				45 cm	38						
6,8	7,6	80	7	15 cm	38	94	A-2-4	SM	9,1	ARENA CAFÉ CLARO CON FRAGMENTOS DE ROCA ARENISCA.	
				30 cm	44						
				45 cm	50						
7,6	7,74	14	NO SE RECUPERÓ A MUESTRA	15 cm	RECHAZO		-	-	-	POSIBLEMENTE CONTINUA CAPA DE ARENA CONSOLIDADA TIPO ROCA ARENISCA	
				30 cm							
				45 cm							

Fuente: JE JAIMES., 2023

**Tabla 5-160. Perfil estratigráfico sondeo 4.**

PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm		cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	0,8	80	1	15 cm	-	-	-	-	26,2	CAPA VEGETAL, MATERIAL ORGÁNICO	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
0,8	4,5	370	2	15 cm	21	31	A-6	CL	31,7	ARCILLA AMARILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON VETAS COLOR CAFÉ OSCURO Y GRIS. CONSISTENCIA MEDIA A FIRME	
				30 cm	15						
				45 cm	16						
			3	15 cm	23	52					
				30 cm	25						
				45 cm	27						
			4	15 cm	26	58					
				30 cm	27						
				45 cm	31						
4,5	5,8	110	5	15 cm	33	62	A-4	SM	14,4	ARENAS COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS COLOR GRIS Y PARTICULAS EN CONSOLIDACIÓN.	
				30 cm	34						
				45 cm	26						
5,6	6,5	90	6	15 cm	31	69	A-1-b	GM	11,1	ARENA CAFÉ CLARO CON FRAGMENTOS DE ROCA ARENISCAS DE TM 3/4"	
				30 cm	42						
				45 cm	47						
6,5	7,6	110	NO SE RECUPER A MUESTRA	15 cm	-	-	-	-	-	SE RECUPERAN ALGUNOS FRAGMENTOS DE ROCA ARENISCAS Y ARENA DE TM 1/2"	
				30 cm	-						
				45 cm	-						

Fuente: JE JAIMES., 2023

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:



ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

# CORRELACIONES

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50
4-8	Media	Se requiere un esfuerzo moderado para penetrar varios cm con el pulgar	17-20	50-100
8-16	Rigido	Se identifica fácilmente con el pulgar	19-22	100-200
16-32	Muy Rigido	Se identifica con la uña del pulgar	19-22	200-400
>32	Duro	Difícil de rayar con la uña del pulgar	19-22	>400

**Figura 5-130. Resumen correlaciones (SPT)**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores Ings. Carlos Collazos, Oliver González, Carlos Ante, Diego Bravo y Angel Concha de la Universidad del Cauca – Facultad de Ingeniería Civil – Departamento de Geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.1.2.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg
  - Granulometría
  - Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.1.3 Estudio torre T-5M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.26 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-161 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-5M.

**Tabla 5-161. Localización sondeos torre T-5M.**



<b>Torre</b>	<b>Sondeo</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>
T-5M	Sondeo 1	4707048,21	2201831,27

<b>Torre</b>	<b>Sondeo</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>
	Sondeo 2	4707048,21	2201831,27

Fuente: JE JAIMES, 2023






Con base en los trabajos de campo ejecutados en Marzo de 2023, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-162. Perfil estratigráfico sondeo 1**

PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	0,6	60	1	15 cm	-	-	A-4	OL	16,5	CAPA VEGETAL DE 8 cm Y POSTERIORMENTE MATERIAL ORGÁNICO MUY BLANDO COLOR CAFE OSCURO CON PRESENCIA DE RAICES	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
0,6	1,82	122	2	15 cm	3	11	A-4	ML	20,4	LIMO AMARILLO CON VETAS BLANCAS Y CAFE CLARO. PRESENCIA DE ARENAS	
				30 cm	3						
				45 cm	8						
			3	15 cm	5	12					
				30 cm	6						
				45 cm	6						
1,82	3,11	129	4	15 cm	10	38	A-6	CL	41,3	ARCILLA COLOR HABANO CON VETAS AMARILLAS Y CAFE OSCURO, CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	16						
				45 cm	22						
			5	15 cm	10	44					
				30 cm	18						
				45 cm	26						
3,11	5,77	266	6	15 cm	28	45	A-2-4	SM	15,5	ARENA CAFE OSCURO CON GRIS Y PRESENCIA DE LIMOSA COLOR HABANO CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	21						
				45 cm	24						
			7	15 cm	28	67					
				30 cm	32						
				45 cm	35						
5,77	7,13	136	8	15 cm	33	44	A-2-4	SM	10,9	MATERIAL CON APARIENCIA DE ROCA ARENOSA DE CONSISTENCIA DURA QUE GENERA RECHAZO A LOS 7,13m. SIN EMBARGO, EL MATERIAL SE DESMORONA SIGNIFICATIVAMENTE EN ALTOS % DE HUMEDAD AUMENTANDO EL CONTENIDO DE ARENAS Y CLASIFICÁNDOLO COMO UN "SM".	
				30 cm	44						
				45 cm	RECHAZO						

Fuente: JE JAIMES., 2023

**Tabla 5-163. Perfil estratigráfico sondeo 2.**

PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES (SPT)		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-
0	0,63	63	1	15 cm	-	-	A-4	OL	13,2	CAPA VEGETAL DE 7,2 cm Y POSTERIORMENTE MATERIAL ORGÁNICO MUY BLANDO COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE RAICES	
				30 cm	-						
				45 cm	-						
0,63	1,67	104	2	15 cm	3	11	A-4	ML	16,2	LIMO AMARILLO CON VETAS BLANCAS Y CAFÉ CLARO. PRESENCIA DE ARENAS	
				30 cm	3						
				45 cm	8						
1,67	3,16	149	3	15 cm	7	12	A-6	CL	31,6	ARCILLA COLOR AMARILLO Y HABANO CON VETAS CAFÉ OSCURO Y GRIS, CONSISTENCIA MEDIA Y PRESENCIA DE ARENAS	
				30 cm	5	38					
				45 cm	7	40					
			4	15 cm	12						
				30 cm	18						
				45 cm	20						
			5	15 cm	19						
				30 cm	16						
				45 cm	24						
3,16	6,08	292	6	15 cm	26	54	A-2-4	SM	16,3	ARENA CAFÉ OSCURO Y PRESENCIA DE LIMOS COLOR HABANO Y BLANCO CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	27	56					
				45 cm	27						
			7	15 cm	31						
				30 cm	32						
				45 cm	24						
6,08	7,26	118	8	15 cm	30	98	A-2-4	SM	6,3	ROCA ARENISCA DE CONSISTENCIA DURA QUE GENERA RECHAZO A LOS 7,26m. PRESENTA DESMORONAMIENTO CON ALTOS % DE HUMEDAD AUMENTANDO EL CONTENIDO DE ARENAS.	
				30 cm	48						
				45 cm	50						

Fuente: JE JAIMES., 2023

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

# CORRELACIONES

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la comprensión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50
4-8	Media	Se requiere un esfuerzo moderado para penetrar varios cm con el pulgar	17-20	50-100
8-16	Rigido	Se identifica fácilmente con el pulgar	19-22	100-200
16-32	Muy Rigido	Se identifica con la uña del pulgar	19-22	200-400
>32	Duro	Difícil de rayar con la uña del pulgar	19-22	>400

**Figura 5-131. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.1.3.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2 Estudios torres año 2022

##### 5.1.10.2.2.2.1 Estudio torre T-8M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-164 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-8M.

 <b>ISAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-164. Localización sondeos torre T-8M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-8M	Sondeo 1	4706024,5	2201393,1
	Sondeo 2	4706024,5	2201393,1

Fuente: JE JAIMES., 2022









Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-165. Perfil estratigráfico sondeo 1.**

CONTRATISTA: J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.			FECHA DE ENTREGA: 11/11/2022										
ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T8M			O.T: -										
PROFUNDIDAD [m]	ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN			HUMEDAD %	DESCRIPCIÓN	IMAGEN		
			cm	#		AASHTO	U.S.C.S						
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%				
0	2	200	1	15 cm	4	14	A-7-5	ML	20,75	LIMO COLOR HABANO CON TRAMOS CAFÉ OSCURO			
				30 cm	7								
				45 cm	7								
			2	15 cm	7	20	A-5	ML	19,94				
					30 cm							9	
					45 cm							11	
2	2,79	79	3	15 cm	11	26	A-5	ML	24,11	LIMO COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS CAFÉ OSCURO DE CONSISTENCIA BLANDA			
				30 cm	13								
				45 cm	13								
2,79	5	221	4	15 cm	13	30	A-5	ML	22,95	LIMO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA BLANDA			
				30 cm	15								
				45 cm	15								
			5	15 cm	15	36	A-5	ML	21,85				
												30 cm	17
												45 cm	19
5	7,03	203	6	15 cm	19	48	A-7-6	ML	23,42	LIMO CAFÉ OSCURO CON VETAS NEGRAS DE CONSISTENCIA MEDIA			
				30 cm	23								
				45 cm	25								
			7	15 cm	27	67	A-5	ML	21,74				
												30 cm	30
												45 cm	37
7,03	8,0	97	8	15 cm	39	91	A-4	ML	12,01	LIMO CAFÉ CLARO DE BAJA HUMEDAD NATURAL. EL SUELO SE DESMORONA FACILMENTE			
				30 cm	40								
				45 cm	51								

Fuente: JE JAIMES., 2022

**Tabla 5-166. Perfil estratigráfico sondeo 2.**

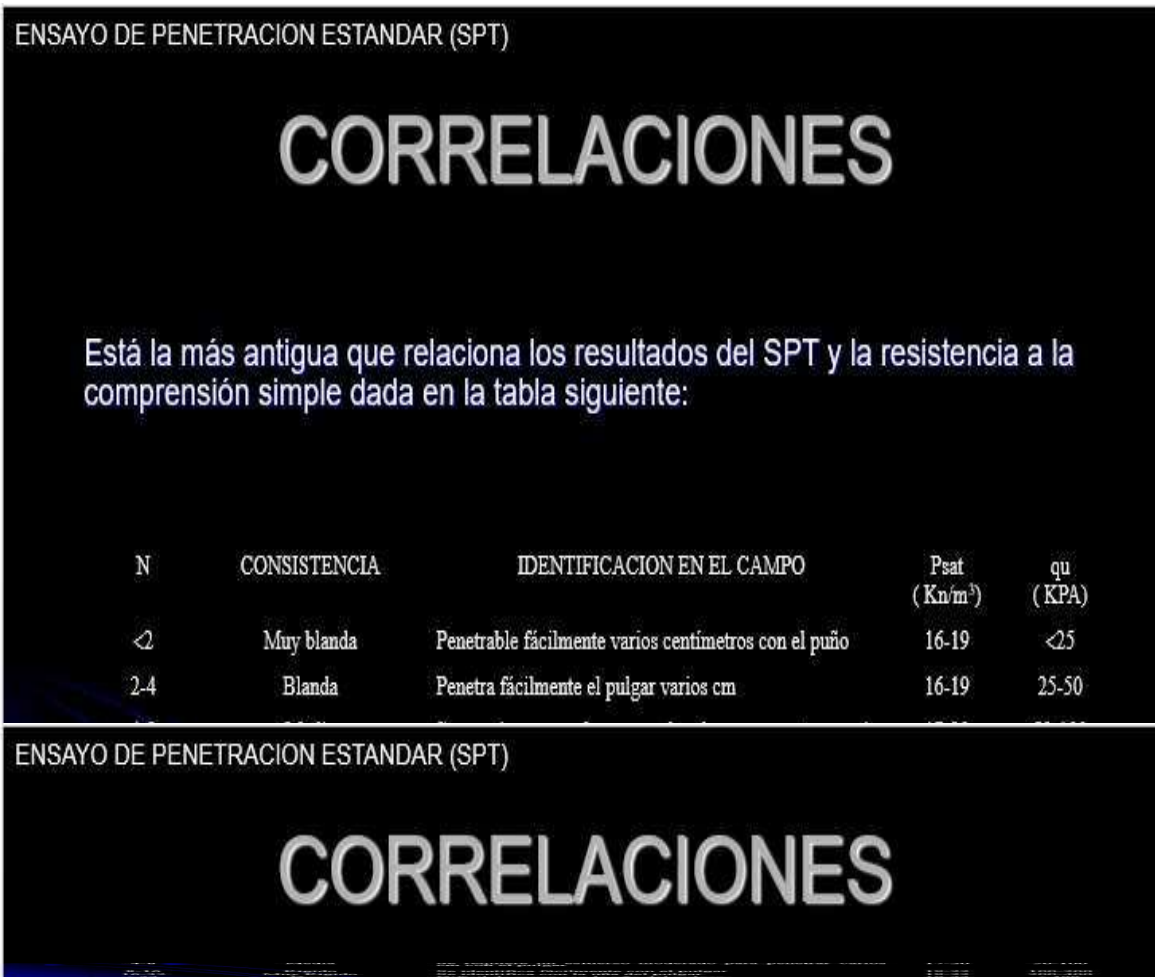
ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T8M				O.T: -									
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN		
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-		
0	2,12	212	1	15 cm	2	14	A-7-5	ML	20,27	LIMO COLOR HABANO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA.			
				30 cm	6								
				45 cm	8								
			2	15 cm	7	20	A-5	ML	20,93			LIMO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA BLANDA Y VETAS NEGRAS	
				30 cm	10								
				45 cm	10								
2,12	3,09	97	3	15 cm	9	26	A-5	ML	22,78	LIMO COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA BLANDA Y VETAS NEGRAS			
				30 cm	11								
				45 cm	15								
3,09	5,17	208	4	15 cm	13	32	A-5	ML	22,11	LIMO CAFÉ OSCURO DE CONSISTENCIA BLANDA			
				30 cm	17								
				45 cm	15								
			5	15 cm	17	42	A-5	ML	21,77			LIMO CAFÉ OSCURO CON VETAS NEGRAS Y CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	19								
				45 cm	23								
5,17	6,32	115	6	15 cm	21	53	A-7-5	ML	19,69	LIMO CAFÉ OSCURO CON VETAS NEGRAS Y CONSISTENCIA MEDIA			
				30 cm	25								
				45 cm	28								
6,32	8	168	7	15 cm	33	71	A-4	ML	11,75	LIMO COLOR HABANO DE BAJA PLASTICIDAD, BAJA HUMEDAD NATURAL CON TENDENCIA AL DESMORONAMIENTO			
				30 cm	37								
				45 cm	34								
			8	15 cm	42	97	A-4	ML	11,18			LIMO COLOR HABANO DE BAJA PLASTICIDAD, BAJA HUMEDAD NATURAL CON TENDENCIA AL DESMORONAMIENTO	
				30 cm	47								
				45 cm	50								

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:





**Figura 5-132. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia “ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR “SPT” – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.1.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2 Estudio torre T-6M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.0 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado y siguiendo los procedimientos descritos en la norma INVIAS vigente. En la Tabla 5-167 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-6M.






**Tabla 5-167. Localización sondeos torre T-6M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-6M	Sondeo 1	4706495,18	2202032,19
	Sondeo 2	4706495,18	2202032,19

Fuente: JE JAIMES., 2022

Con base en los trabajos de campo ejecutados en Septiembre de 2022, por medio de dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudo establecer el siguiente perfil del subsuelo de fundación, el cual se presenta de forma simplificada a continuación:

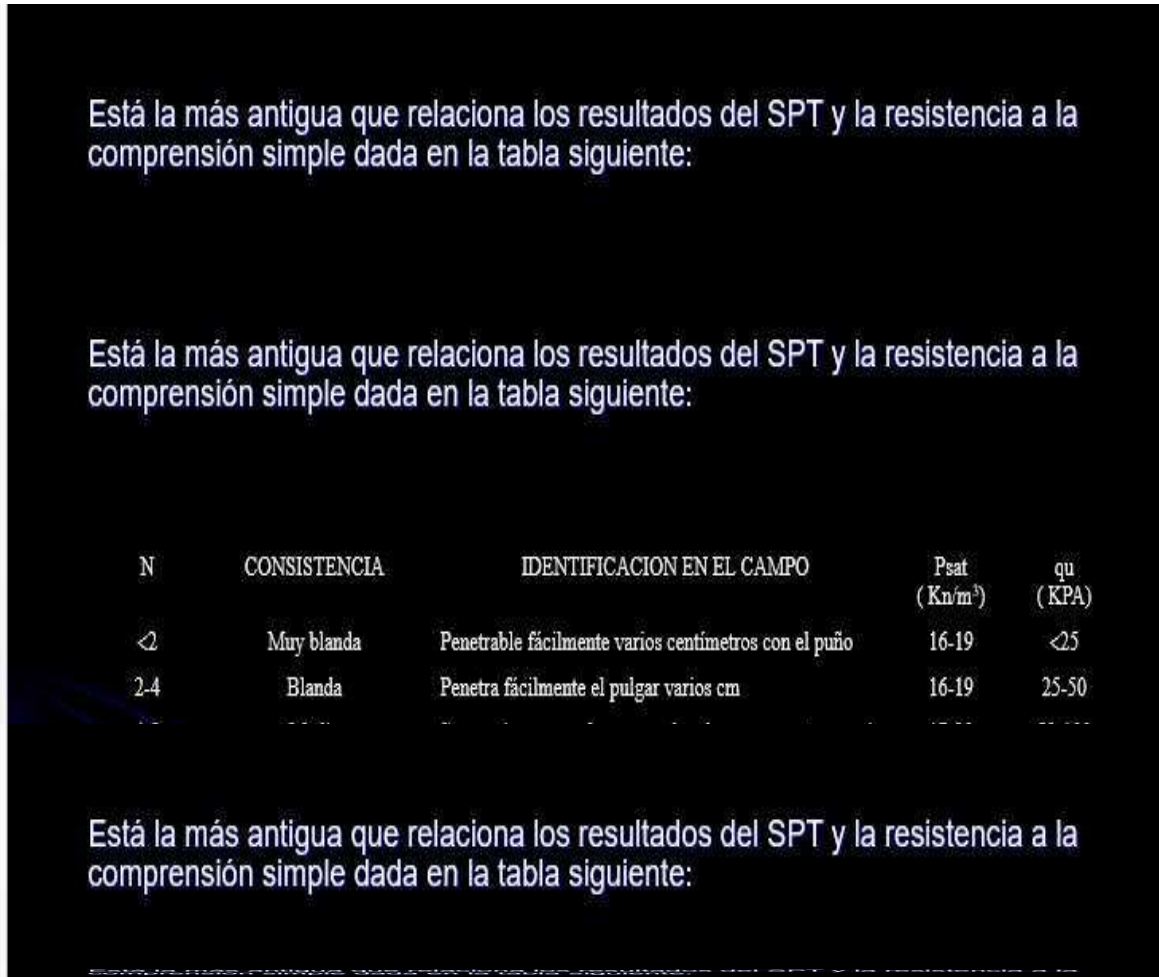
**Tabla 5-168. Perfil estratigráfico sondeo 1.**

PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN			HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-	
0	0,33	33		15 cm	-	-	-	-	-	-	CAPA VEGETAL	
				30 cm	-							
				45 cm	-							
0,33	0,5	17	1	15 cm	-	-	A-7-5	OH	40,9	MATERIAL ORGÁNICO CON ARENAS COLOR CAFÉ Y VETAS AMARILLAS		
				30 cm	-							
				45 cm	-							
0,5	1	50	2	15 cm	17	56	A-7-5	MH	30,64	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENAS, COLOR CAFÉ CLARO Y VETAS MARRÓN		
				30 cm	20							
				45 cm	36							
1	1,92	92	3	15 cm	19	57	A-7-6	CH	28,47	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CAFÉ CLARO CON VETAS MARRÓN Y PRESENCIA DE ARENAS Y GRAVILLA		
				30 cm	29							
				45 cm	28							
1,92	3,5	158	4	15 cm	16	41	A-7-6	CH	23,2	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR HABANO Y GRIS CON PRESENCIA DE GRAVILLA Y ALGUNAS PARTICULAS DE TAMAÑO 3/4"		
				30 cm	22							
				45 cm	19							
3,5	4	50	5	15 cm	23	73	A-7-6	CL	18,99	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CAFÉ CLARO Y GRIS CON ARENAS Y PARTICULAS DE TAMAÑO 1/2"		
				30 cm	33							
				45 cm	40							
4	6,8	280	6	15 cm	34	96	A-7-6	CL	12,22	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD DENSIFICADA COLOR GRIS Y CAFÉ CLARO		
				30 cm	46							
				45 cm	50							
6,8	7,0	20	-	15 cm	48	0	-	-	-	NO SE RECUPERA MUESTRA POR RECHAZO		
				30 cm	RECHAZO							
				45 cm	-							

Fuente: JE JAIMES., 2023

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:



**Figura 5-133. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.2.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2.3 Estudio torre T-9M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-169 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-9M.

**Tabla 5-169. Localización sondeos torre T-9M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-9M	Sondeo 3	4705513,95	2201138,35
	Sondeo 4	4705513,95	2201138,35

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

 <b>ISAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	
		Rev. No.: 4	2024-08-08




Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-170. Perfil estratigráfico sondeo 1.**

CONTRATISTA: J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.							FECHA DE ENTREGA: 17/11/2022				
ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T9M							O.T: -				
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	3,02	302	1	15 cm	3	9	A-4	ML	25,7	LIMO DE COLOR HABANO CON VETAS BLANCAS Y AMARILLAS, NO CONTIENE CANTIDADES SIGNIFICATIVAS DE ARENAS O MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ N°200. CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	4						
				45 cm	5						
			2	15 cm	5	12					
				30 cm	5						
				45 cm	7						
			3	15 cm	7	12					
				30 cm	7						
				45 cm	5						
3,02	3,95	93	4	15 cm	7	17	A-7-5	MH	33,3	LIMO COLOR HABANO CON TRAMOS COLOR CAFÉ CLARO. CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	8						
				45 cm	9						
3,95	6,14	219	5	15 cm	10	33	A-5	ML	25,8	LIMO COLOR HABANO Y CAFÉ CLARO, CONSISTENCIA BAJA	
				30 cm	14						
				45 cm	19						
			6	15 cm	8	17					
				30 cm	8						
				45 cm	9						
6,14	7,05	91	7	15 cm	12	34	A-5	ML	21,3	LIMO DE COLOR HABANO Y CAFÉ CLARO DENSIFICADO. MATERIAL DURO	
				30 cm	16						
				45 cm	18						
7,05	8,0	95	8	15 cm	24	68	A-5	ML	19,91	LIMO DE COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS CAFÉ OSCURO Y PRESENCIA DE ALGUNAS ARENAS	
				30 cm	32						
				45 cm	36						

Fuente: JE JAIMES, 2022

**Tabla 5-171. Perfil estratigráfico sondeo 2.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T9M										O.T: -	
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-
0	3,85	385	1	15 cm	2	6	A-4	ML	25,9	LIMO DE COLOR HABANO CON VETAS BLANCAS Y AMARILLAS. EL MATERIAL RETIENE MENOS DEL 1% EN EL TAMIZ N°200.	
				30 cm	3						
				45 cm	3						
			2	15 cm	6	19					
				30 cm	8						
				45 cm	11						
			3	15 cm	7	14					
				30 cm	8						
				45 cm	6						
			4	15 cm	6	18					
				30 cm	8						
				45 cm	10						
3,85	6,56	271	5	15 cm	9	33	A-7-5	ML	24,3	LIMO COLOR HABANO Y CAFÉ OSCURO CON VETAS AMARILLAS. TIENE UNA CONSISTENCIA RÍGIDA BAJO LAS CONDICIONES NATURALES	
				30 cm	12						
				45 cm	21						
			6	15 cm	13	32					
				30 cm	17						
				45 cm	15						
			7	15 cm	16	43					
				30 cm	23						
				45 cm	20						
6,56	8,0	144	8	15 cm	27	62	A-5	ML	17,4	LIMO COLOR CAFÉ CLARO DENSIFICADO	
				30 cm	23						
				45 cm	39						

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

**Figura 5-134. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.3.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg



- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.4 Estudio torre T-12M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.80 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-172 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-12M.





**Tabla 5-172. Localización sondeos torre T-12M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-12M	Sondeo 15	4704358,18	2201110,18
	Sondeo 16	4704358,18	2201110,18

Fuente: JE JAIMES., 2022





Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-173. Perfil estratigráfico sondeo 1.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T12M						O.T: -					
PROFUNDIDAD [m]		ESPESO R CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-
0	2,1	210	1	15 cm	11	21	A-4	CL	35,7	ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO, CON MATERIA ORGÁNICA Y ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD	
				30 cm	8						
				45 cm	13						
			2	15 cm	16	29					
				30 cm	12						
				45 cm	17						
2,1	2,86	76	3	15 cm	34	65	A-1-b	SC	23,9	ARENA ARCILLOSA COLOR GRIS CON TROZOS CAFÉ CLARO, PRESENCIA DE GRAVILLA	
30 cm	38										
45 cm	27										
2,86	5,48	262	4	15 cm	36	86	A-2-4	SC	17,6	ARENA ARCILLOSA CON PARTICULAS DE GRAVA CON TAMAÑO MÁXIMO 1 PULGADA, Y EL MATERIAL ARCILLOSO COLOR CAFÉ CLARO PRESENTA OLORES DE TIPO ORGÁNICO	
				30 cm	42						
				45 cm	44						
			5	15 cm	31	82					
				30 cm	39						
				45 cm	43						
5,48	7,69	221	6	15 cm	47	79	A-2-4	SC	20,8	ARENA ARCILLOSA CON PARTICULAS DE GRAVA Y TRAMOS SIGNIFICATIVOS DE ARCILLA QUE PRESENTAN BAJA PLASTICIDAD CON UN IP DE 9 APROX.	
				30 cm	45						
				45 cm	34						
			7	15 cm	36	56					
				30 cm	26						
				45 cm	30						
7,69	7,8	6	-	15 cm	50	-	-	-	NO SE RECUPERA MUESTRA "RECHAZO"		
				30 cm	-						
				45 cm	-						

Fuente: JE JAIMES., 2022

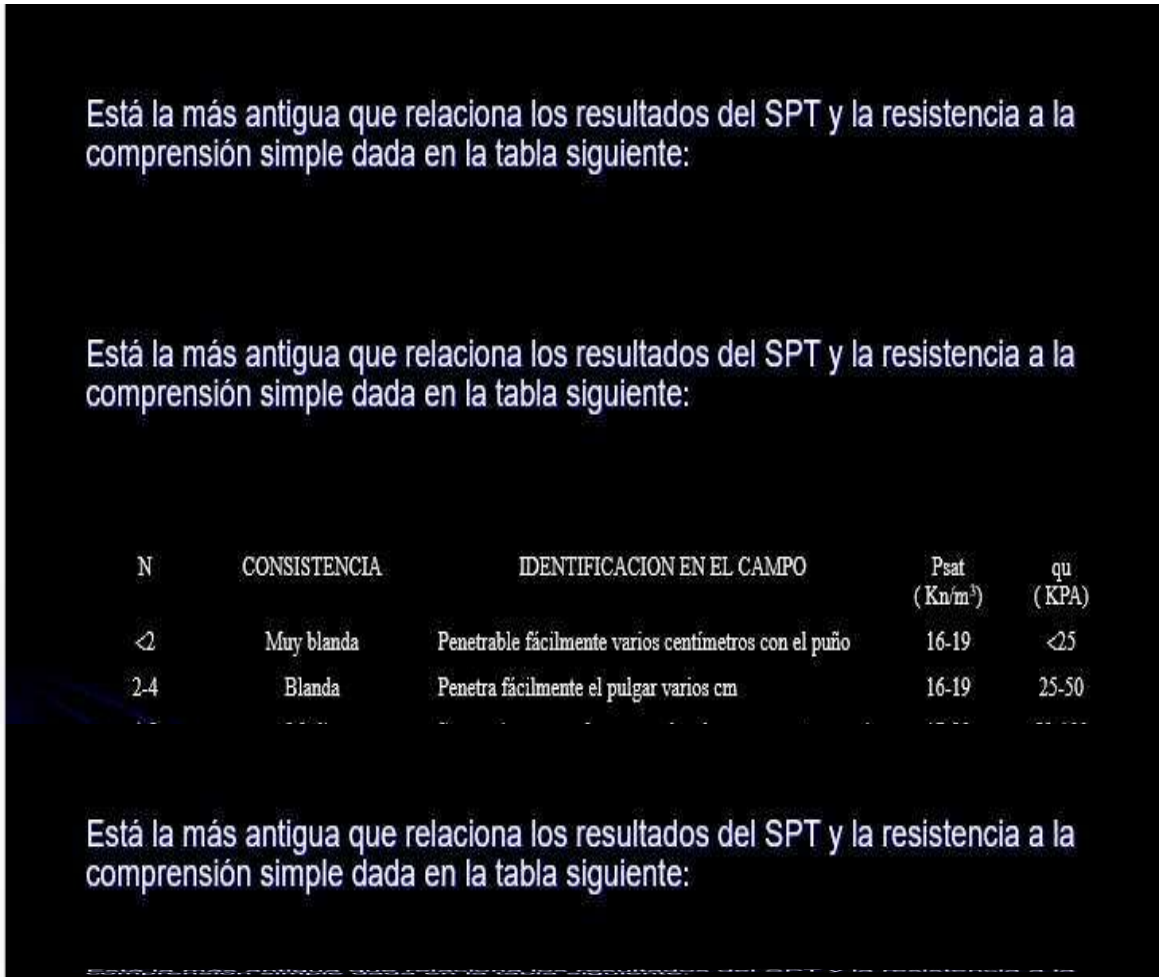
**Tabla 5-174. Perfil estratigráfico sondeo 2.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T12M						O.T: -					
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	1,95	195	1	15 cm	9	28	A-4	CL	32,1	ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO Y OSCURO, CON MATERIA ORGÁNICA Y PRESENCIA DE ARENAS	
				30 cm	14						
				45 cm	14						
			2	15 cm	16	33					
				30 cm	18						
				45 cm	15						
1,95	2,61	66	3	15 cm	27	57	A-1-a	SC	25,6	ARENA ARCILLOSA COLOR GRIS CON TROZOS CAFÉ OSCURO Y PRESENCIA DE GRAVILLA	
				30 cm	21						
				45 cm	36						
2,61	6,05	344	4	15 cm	31	87	A-2-4	SC	15,2	ARENA ARCILLOSA CON PARTICULAS DE GRAVA CON TAMAÑO MÁXIMO 1 PULGADA.	
				30 cm	39						
				45 cm	48						
			5	15 cm	41	88					
				30 cm	40						
				45 cm	48						
			6	15 cm	44	94					
				30 cm	49						
				45 cm	45						
6,05	7,5	143	7	15 cm	43	65	A-2-4	SC	18,4	ARENA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON PARTICULAS DE GRAVA COLOR GRIS Y NEGRO FRACCIÓN FINA DE CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	33						
				45 cm	32						
			8	15 cm	46	50					
				30 cm	50						
				45 cm	-						
				45 cm	-						

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:



**Figura 5-135. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

5.1.10.2.2.4.1 *Ensayos de laboratorio*

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.5 Estudio torre T-13M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8.0 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-175 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-13M.

**Tabla 5-175. Localización sondeos torre T-13M.**





Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-13M	Sondeo 11	4703511,7	2201089,56
	Sondeo 12	4703511,7	2201089,56

Fuente: JE JAIMES., 2022

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08



Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-176. Perfil estratigráfico sondeo 1.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T13M						O.T: -													
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN								
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-								
0	2,04	204	1	15 cm	5	14	A-6	CL	22,5	ARCILLA CAFÉ OSCURO CON PARTICULAS DE GRAVILLA 1/2"									
				30 cm	9														
				45 cm	5														
			2	15 cm	8	29													
				30 cm	13														
				45 cm	16														
2,04	4,15	211	3	15 cm	13	32	A-1-a	SP	14,2	ARENA CAFÉ OSCURO CON PARTICULAS DE GRAVILLA 3/8"									
				30 cm	16														
				45 cm	16														
			4	15 cm	24	49													
				30 cm	28														
				45 cm	21														
			5	15 cm	22	46													
				30 cm	20														
				45 cm	26														
			4,15	6,21	206	6						15 cm	28	59	A-4	SC	20,1	MATERIAL ARENO-ARCILLOSO CAFÉ CLARO CON VETAS AMARILLAS Y CONSISTENCIA BLANDA	
												30 cm	34						
												45 cm	25						
7	15 cm	25				70													
	30 cm	33																	
	45 cm	37																	
6,21	8,0	179	8	15 cm	36	67	A-6	CL	27,4	ARCILLA CAFÉ CLARO CON AMARILLO Y VETAS OSCURAS. MATERIAL DENSIFICADO									
				30 cm	34														
				45 cm	33														

Fuente: JE JAIMES., 2022

**Tabla 5-177. Perfil estratigráfico sondeo 2.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T13M							O.T: -				
PROFUNDIDAD [m]		ESPESO R CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%		
0	2,2	220	1	15 cm	7	15	A-6	CL	22,2	ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE GRAVILLA Y ARENAS	
				30 cm	8						
				45 cm	7						
			2	15 cm	12	29					
				30 cm	12						
				45 cm	17						
2,2	4,3	210	3	15 cm	11	33	A-1-a	SP	14	ARENA POBREMENTE GRADADA CON BAJA HUMEDAD Y EN ESTADO SUELTO	
				30 cm	14						
				45 cm	19						
			4	15 cm	23	52					
				30 cm	26						
				45 cm	26						
			5	15 cm	25	48					
				30 cm	25						
				45 cm	23						
4,3	6,3	200	6	15 cm	25	57	A-2-4	SC	19,9	ARENA ARCILLOSA CON HUMEDAD MEDIA COLOR CAFÉ CLARO	
				30 cm	29						
				45 cm	28						
6,3	8	170	7	15 cm	28	60	A-6	CL	22,3	ARCILLA CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE ARENAS, VETAS COLOR AMARILLO Y TRAMOS DE COLOR CAFÉ OSCURO	
				30 cm	31						
				45 cm	29						
			8	15 cm	29	64					
				30 cm	28						
				45 cm	36						

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

**Figura 5-136. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.5.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:
  - Límites de Atterberg



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2.6 Estudio torre T-14M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8.0 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-178 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-14M.

**Tabla 5-178. Localización sondeos torre T-14M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-14M	Sondeo 5	4703197,63	2201194,83
	Sondeo 6	4703197,63	2201194,83

Fuente: JE JAIMES., 2022

 <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	
	Rev. No.: 4	2024-08-08





Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-179. Perfil estratigráfico sondeo 5.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T14M							O.T: -				
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-
0	1,17	117	1	15 cm	4	12	A-4	CL	20,9	ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA Y CONSISTENCIA MEDIA	
				30 cm	6						
				45 cm	6						
			2	15 cm	9	24					
				30 cm	12						
				45 cm	12						
1,17	1,39	22	2 Y 3	15 cm	15	31	A-4	CL	23,6	ARCILLA DE COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIAL ARENOSO	
				30 cm	13						
				45 cm	18						
1,39	5,33	394	3 Y 4	15 cm	17	41	A-1-a	SP	12,4	ARENA POBREMENTE GRADADA COLOR CAFÉ OSCURO	
				30 cm	20						
				45 cm	21						
			5	15 cm	21	47					
				30 cm	23						
				45 cm	24						
5,33	7,0	167	6	15 cm	23	50	A-4	SC	18,1	ARENA DE COLOR CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE MATERIAL ARCILLOSO DE CONSISTENCIA BLANDA	
				30 cm	25						
				45 cm	25						
			7	15 cm	27	49					
				30 cm	21						
				45 cm	28						
7,0	8,0	100	8	15 cm	29	66	A-6	CL	35,6	ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO CON ALTA HUMEDAD NATURAL DE CONSISTENCIA BLANDA	
				30 cm	31						
				45 cm	35						

Fuente: JE JAIMES., 2022

**Tabla 5-180. Perfil estratigráfico sondeo 6.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T14M										O.T: -									
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN								
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%										
0	1,84	184	1	15 cm	4	12	A-6	CL	21,5	ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA Y CONSISTENCIA MEDIA									
				30 cm	6														
				45 cm	6														
			2	15 cm	8	17													
				30 cm	7														
				45 cm	10														
2,78	5,81	303	3	15 cm	12	33	A-1-a	SP	10,7	ARENA POBREMENTE GRADADA COLOR CAFÉ OSCURO									
				30 cm	15														
				45 cm	18														
			4	15 cm	19	44													
				30 cm	23														
				45 cm	21														
			5	15 cm	20	42													
				30 cm	21														
				45 cm	21														
			5,81	7,1	131	6						15 cm	26	64	A-2-4	SC	16,1	ARENA DE COLOR CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE MATERIAL ARCILLOSO DE CONSISTENCIA BLANDA	
												30 cm	35						
												45 cm	29						
7	15 cm	28				50													
	30 cm	26																	
	45 cm	24																	
7,1	8,0	88	8	15 cm	25	51	A-6	CL	28,7	ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO CON ALTA HUMEDAD NATURAL DE CONSISTENCIA BLANDA									
				30 cm	23														
				45 cm	28														

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

**Figura 5-137. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.2.6.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2.7 Estudio torre T-15M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 7.91 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-181 se presentan las coordenadas de los sondeos para la torre T-15M.

**Tabla 5-181. Localización sondeos torre T-15M.**





Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-15M	Sondeo 13	4702851,79	2201310,76
	Sondeo 14	4702851,79	2201310,76

Fuente: JE JAIMES., 2022

 <b>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <b>INTERCOLOMBIA</b>	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:





**Tabla 5-182. Perfil estratigráfico sondeo 13.**

CONTRATISTA: J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.		FECHA DE ENTREGA: 7/12/2022											
ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T15M		O.T: -											
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]	RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN			
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-		
0	1,63	163		15 cm	5	14	A-6	CL	16,5	ARCILLA CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA			
				30 cm	7								
				45 cm	7								
1,63	3,42	179	2	15 cm	7	21	A-4	CL-ML	16,9	MATERIAL LIMO-ARCILLOSO CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE ARENAS Y CONSISTENCIA MEDIA			
				30 cm	9								
				45 cm	12								
			3	15 cm	14	26							
				30 cm	9								
				45 cm	17								
3,42	6,13	271	4	15 cm	15	55	A-4	SC-SM	17,4	ARENA LIMO-ARCILLOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON PARTICULAS DE GRAVILLA Y OXIDACIONES			
				30 cm	28								
				45 cm	27								
			5	15 cm	24	56							
				30 cm	27								
				45 cm	29								
6,13	7,91	178	6	15 cm	33	76	A-4	SC	20,2	ARENA ARCILLOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON PARTICULAS DE GRAVILLA			
				30 cm	39								
				45 cm	37								
			7	15 cm	45	0							
				30 cm	RECHAZO								
				45 cm									

Fuente: JE JAIMES., 2022

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

**Tabla 5-183. Perfil estratigráfico sondeo 14.**

CONTRATISTA: J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.							FECHA DE ENTREGA: 7/12/2022										
ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T15M							O.T: -										
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN						
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%	-	-						
0	1,63	163		15 cm	5	14	A-6	CL	16,5	ARCILLA CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA							
				30 cm	7												
				45 cm	7												
1,63	3,42	179	2	15 cm	7	21	A-4	CL-ML	16,9	MATERIAL LIMO-ARCILLOSO CAFÉ CLARO CON PRESENCIA DE ARENAS Y CONSISTENCIA MEDIA							
				30 cm	9												
				45 cm	12												
			3	15 cm	14	26											
				30 cm	9												
				45 cm	17												
3,42	6,13	271	4	15 cm	15	55	A-4	SC-SM	17,4	ARENA LIMO-ARCILLOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON PARTICULAS DE GRAVILLA Y OXIDACIONES							
				30 cm	28												
				45 cm	27												
			5	15 cm	24	56											
				30 cm	27												
				45 cm	29												
6,13	7,91	178	6	15 cm	33	76	A-4	SC	20,2	ARENA ARCILLOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON PARTICULAS DE GRAVILLA							
				30 cm	39												
				45 cm	37												
			7	15 cm	45	0											
				30 cm	RECHAZO												
				45 cm													

Fuente: JE JAIMES., 2022

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

**Figura 5-138. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.7.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:



	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfina
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2.8 Estudio torre T-17M

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron Dos (2) perforaciones con equipo liviano de percusión y avance por lavado, con profundidad máxima de 8.0 m (Rechazo), cumpliendo con los requerimientos mínimos equivalentes del Título H de la Norma NSR-10, en cuanto a longitud sondeo ejecutado. En la Tabla 5-184 se presentan las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional de los sondeos para la torre T-17M.






**Tabla 5-184. Localización sondeos torre T-17M.**

Torre	Sondeo	Este (m)	Norte (m)
T-17M	Sondeo 7	4702669,7	2201108,73
	Sondeo 8	4702669,7	2201108,73

 <b>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <b>INTERCOLOMBIA</b>	
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Fuente: JE JAIMES., 2022 Con base en los trabajos de campo ejecutados en Octubre de 2022, por medio de Dos (2) Sondeos y los resultados en el laboratorio ejecutados, se pudieron establecer los siguientes perfiles del subsuelo de fundación, los cuales se presentan de forma simplificada a continuación:

**Tabla 5-185. Perfil estratigráfico sondeo 7.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T17M				O.T: -								
PROFUNDIDAD [m]		ESPESOR CAPA	NUMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%			
0	0,77	77	1 Y 2	15 cm	2	5	A-7-5	OH	41,3	MATERIAL ORGÁNICO COLOR NEGRO		
				30 cm	3							
				45 cm	2							
0,77	4,01	324	3	15 cm	3	5	A-7-5	MH	38,9	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD COLO CAFÉ CLARO CON ARENAS. CONSISTENCIA MEDIA		
				30 cm	2							
				45 cm	3							
			4	15 cm	4	14			38,5			
				30 cm	6							
				45 cm	8							
4,01	6,09	208	5	15 cm	10	30	A-2-7	SM	38,9	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS GRISES Y NEGRAS. PRESENTA DESMORONAMIENTO POR SU CONTENIDO DE ARENAS Y GRAVAS		
				30 cm	14							
				45 cm	16							
			6	15 cm	16	36			25,21			
				30 cm	17							
				45 cm	19							
6,09	7,14	105	7	15 cm	24	62	A-2-5	SM	29,9	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS Y MARRÓN CON GRAVAS		
				30 cm	29							
				45 cm	33							
7,14	8,00	86	NO SE RECUPER A MUESTRA	15 cm	-							
				30 cm	-							
				45 cm	-							

Fuente: JE JAIMES., 2022

**Tabla 5-186. Perfil estratigráfico sondeo 8.**

ESTRUCTURA: TORRE DE ENERGÍA T17M										O.T:		
PROFUNDIDAD [m]		ESPESO R. CAPA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE GOLPES [SPT]		RESULT. SPT	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	
DE	A	cm	#	cm	#	N30	AASHTO	U.S.C.S	%			
0	0,86	86	1	15 cm	2	5	A-7-5	OH	42,4	MATERIAL ORGÁNICO COLOR NEGRO		
				30 cm	2							
				45 cm	3							
0,86	4,3	344	2	15 cm	3	8	A-7-5	MH	37,6	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD COLO CAFÉ CLARO CON ARENAS		
				30 cm	5							
				45 cm	3							
			3	15 cm	5	12						
				30 cm	5							
				45 cm	7							
4,3	6,5	220	4	15 cm	12	32	A-2-7	SM	32,1	ARENA LIMOSA CAFÉ CLARO CON VETAS COLOR GRIS Y NEGRO. CONTENIDO DE GRAVILLA		
				30 cm	16							
				45 cm	16							
			5	15 cm	14	35						
				30 cm	18							
				45 cm	17							
6	7,6	160	6	15 cm	21	59	A-2-5	SM	26,6	ARENA LIMOSA CON VETAS DE COLOR GRIS. DENSIFICADA Y CONSISTENCIA RÍGIDA.		
				30 cm	33							
				45 cm	26							

*Fuente: JE JAIMES., 2022*

Durante la investigación del subsuelo no se encontró nivel freático. De acuerdo con la evaluación de suelos con características especiales, NO se presentan características licuables, expansivas o colapsables del subsuelo.

El valor promedio del Peso unitario total ( $\gamma_t$ ) fue obtenido mediante la correlación geotécnica con el ensayo de penetración estándar SPT, como se muestra a continuación en la siguiente figura resumen correlaciones:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

N	CONSISTENCIA	IDENTIFICACION EN EL CAMPO	Psat (Kn/m <sup>3</sup> )	qu (KPA)
<2	Muy blanda	Penetrable fácilmente varios centímetros con el puño	16-19	<25
2-4	Blanda	Penetra fácilmente el pulgar varios cm	16-19	25-50

Está la más antigua que relaciona los resultados del SPT y la resistencia a la compresión simple dada en la tabla siguiente:

**Figura 5-139. Resumen correlaciones (SPT).**

*Fuente: Conferencia "ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" – Autores ings. carlos collazos, oliver gonzález, carlos ante, diego bravo y angel concha de la universidad del cauca – facultad de ingeniería civil – departamento de geotecnia, 2006*

#### 5.1.10.2.2.8.1 Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados:

- Clasificación:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Tamiz 200.
  
- Propiedades "In-situ":
  - Humedad natural.
  
- Resistencia:
  - Ensayo de Corte directo
  - Ensayo de compresión inconfiada
  - Ensayo de penetración estándar SPT
  
- Compresibilidad:
  - Ensayo de consolidación.

Adicionalmente los parámetros de deformabilidad del subsuelo se complementaron con base en las correlaciones establecidas para determinar los módulos de elasticidad y resistencia de los suelos. Las tablas de resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.2.2.2.9 Estudio de torres línea de transmisión Carrieles

A través del plan de exploración realizado se efectuaron un total de 8 sondeos, donde se indica que el resto de las estructuras que componen la línea no fue posible realizar la exploración de campo por la negativa de los permisos de ingreso a los predios.

En el proceso de exploración se adelantó el ensayo de penetración estándar para establecer un índice complementario de la resistencia del subsuelo. En la siguiente tabla se muestra la ubicación de los sondeos y la profundidad explorada.

**Tabla 5-187. Localización de sondeos.**

Estructura	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Profundidad (m)
	Norte	Este	
T01	2201430.10	4708240.49	4.65

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Estructura	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Profundidad (m)
	Norte	Este	
T03	2201496.54	4707722.48	3.15
T15	2201339.83	4702885.85	3.35
T17	2201108.53	4702659.94	1.70*

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

#### 5.1.10.2.2.9.1 Ensayos de campo

Durante el proceso de perforación se realizó el ensayo de penetración estándar SPT según la norma ASTM D1586. A continuación, se presenta una tabla que expone el perfil estratigráfico encontrado en cada uno de los sondeos, junto con los resultados del ensayo SPT de campo. Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de perforación se realiza el ensayo SPT. Este consiste en ingresar al hueco de perforación un tubo partido conectado a una tubería de perforación que luego será golpeada por un martillo con peso y dimensiones estandarizadas. A través de este montaje se busca realizar un avance de 0,45 m en 3 avances de 0,15 m donde en cada avance se contarán el número de golpes de martillo efectuados. El primer avance se toma como el avance de penetración de asentamiento, mientras que la suma de los golpes del segundo y tercer avance se llama resistencia a la penetración normal y se toma como el valor de N de campo.

Este ensayo se dio como finalizado cuando se logró realizar el avance de 0,45 m en 3 diferentes avances o se presentó alguna de las siguientes condiciones:

- Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los 3 avances de 0,15 m.
- Que se haya aplicado un total de 100 golpes para un avance de 0,30 m.
- Que no se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.

A partir de estos criterios se obtuvo el siguiente registro de perforación de campo donde expone la descripción realizada en campo por parte de los perforadores, así como el número de muestra y número de golpes en campo para cada una de ellas.

**Tabla 5-188. Resultados ensayos de campo.**

Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra a	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
T01	0.00	0.50	Arcilla húmeda color café de consistencia blanda	M01	-	nr
	0.50	1.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M02	6	nr

Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
	1.00	1.50	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme con arena	M03	12	nr
	1.50	2.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme con arena	M04	16	nr
	2.00	2.50	Arcilla seca color café claro de consistencia firme	M05	12	nr
	3.00	3.50	Arcilla seca color café claro de consistencia firme	M06	18	nr
	4.00	4.50	Arcilla seca color café claro de consistencia firme	M07	30	nr
	4.50	4.65	-	-	R	nr
T03	0.00	0.50	Arcilla húmeda color café de consistencia blanda	M01		nr
	0.50	1.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia blanda	M02	17	nr
	1.00	1.50	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M03	26	nr
	1.50	2.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M04	28	nr
	2.00	2.50	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M05	41	nr
	2.50	3.00	-	-	53	nr
	3.00	3.15	-	-	R	nr
	0.50	1.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M02	26	nr
	1.00	1.50	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M03	R	nr
	0.50	1.00	Arcilla húmeda color café claro de consistencia firme	M02	R	nr
T15	0.00	0.50	Arcilla de alta plasticidad color café	M01	-	nr
	0.50	1.00	Arcilla de baja plasticidad color café	M02	12	nr
	1.00	1.50	Arcilla de baja plasticidad color café	M03	15	nr
	1.50	2.00	Arcilla de baja plasticidad color café claro	M04	15	nr
	2.00	2.50	-	M05	49	nr
	2.50	3.00	Arenas arcillosas color café claro	M06	55	nr
	3.00	3.35	-	-	R	nr
T17-1	0.00	0.50	Arcilla saturada color café de consistencia blanda	M01	-	nr
	0.50	1.00	Arcilla saturada color café de consistencia blanda	M02	R	nr
T17-2*	0.00	0.40	Arcilla saturada color café de consistencia blanda	M01	-	nr

 <b>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <b>INTERCOLOMBIA</b>	Rev. No.: 4	2024-08-08

Sondeo	Profundidad (m)		Descripción	Muestra	SPT (N)	N.F. (m)
	Inicio	Fin				
	0.40	0.70	Arcilla saturada color café de consistencia blanda	M02	R	nr

Nr: no registra nivel freático

R: Rechazo durante la ejecución del ensayo SPT

\*Sondeos de verificación del rechazo

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

#### 5.1.10.2.2.9.2 Ensayos de laboratorio

Luego de haber realizado las labores y ensayos de campo, se pasa a realizar los ensayos de laboratorio. Estos ensayos de laboratorio se realizan con el objetivo de caracterizar física y mecánicamente los materiales encontrados durante las jornadas de exploración realizadas de acuerdo con los materiales encontrados. Las muestras obtenidas fueron identificadas visualmente en campo y descritas detalladamente. Los ensayos de laboratorio realizados se realizan sobre las muestras recuperadas en campo.

En la siguiente tabla se relacionan el tipo y cantidad de ensayos realizados sobre las muestras extraídas, donde se verifica el tipo de muestra extraída para la ejecución de ensayos de clasificación y caracterización de los suelos presentes en la zona de estudio del proyecto. Luego se expone la tabla con la cantidad de ensayos realizados.

**Tabla 5-189. Cantidades ensayos de laboratorio.**

Ensayo	Cantidad
Humedad natural	35
Gravedad específica de sólidos	10
Granulometría	35
Clasificación (Límites de Atterberg)	35

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados.

**Tabla 5-190. Resultados ensayos de laboratorio.**

Sondeo	Ref.	Muestra	Profundidad (m)		Granulometría			Wn (%)	Límites de Atterberg			Gravedad específica de sólidos
			Inicio	Fin	G (%)	A (%)	F (%)		LL (%)	LP (%)	IP	
T01	M01	1	0.00	0.50	22.1	-	77.9	42.46	64	35	29	



Sondeo	Ref.	Muestra	Profundidad (m)		Granulometría			Wn (%)	Límites de Atterberg			Gravedad específica de sólidos
			Inicio	Fin	G (%)	A (%)	F (%)		LL (%)	LP (%)	IP	
	M02	2	0.50	1.00	30.7	0.3	69.3	25.59	56	26	30	
	M03	3	1.00	1.50							-	2.53
	M04	4	1.50	2.00	2.8	-	97.2	23.10	42	25	17	
	M05	5	2.00	2.50	21.4	-	78.6	26.03	60	26	34	
	M06	6	3.00	3.50	5.7	-	94.3	22.06	52	29	23	
	M07	7	4.00	4.50	-	-	100.0	26.36	54	26	27	
		8	4.50	4.65								
T03	M01	1	0.00	0.50	-	31.2	68.8	25.72	51	25	26	
	M02	2	0.50	1.00	-	44.6	55.4	17.16	45	21	24	
	M03	3	1.00	1.50							-	
	M04	4	1.50	2.00	-	-	100.0	18.60	45	24	21	
	M05	5	2.00	2.50	-	-	100.0	15.60	50	26	24	2.42
			2.50	3.00								
			3.00	3.15								
T15	M01	1	0.00	0.50	0.3	14.5	85.2	25.62	52	25	27	
	M02	2	0.50	1.00	-	14.3	85.7	13.08	41	21	20	
	M03	3	1.00	1.50	-	29.9	70.1	9.93	32	21	11	
	M04	4	1.50	2.00	-	11.3	88.7	15.49	37	24	13	
	M05	5	2.00	2.50	-	-					-	2.34
	M06	6	2.50	3.00	13.4	46.8	39.8	7.40	27	18	9	
			3.00	3.35							-	
T17-1	M01	1	0.00	0.50	2.7	5.1	92.1	40.71	91	40	51	
	M02	2	0.50	1.00	0.2	3.3	96.6	50.89	103	41	62	2.37
T17-2	M01	1	0.00	0.40	3.1	5.0	91.9	44.03	101	43	58	
	M02	2	0.40	0.70							-	

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

A través de estos resultados se pudo evidenciar en primera instancia que en general las muestras de suelo recolectadas se encuentran conformadas en su mayoría por material fino. Por medio de los ensayos de granulometría se evidencia que generalmente todos los sondeos presentaron un porcentaje de material fino mayor al 70%, en algunos casos presentan porcentajes de arena de hasta 67 %. De igual manera a través de los ensayos de clasificación se pudieron evidenciar límites líquidos dentro del rango de 50 – 103 e índices de plasticidad dentro del rango de 30 – 50. A partir de estos resultados se podría sugerir en primera instancia que el suelo encontrado en el área de estudio tendría un comportamiento cohesivo, esto según las especificaciones de la NSR-10 en su numeral H.2.5.

#### 5.1.10.2.2.2.9.2.1 Índice de liquidez

También conocido como la Relación Agua-Plasticidad, el Índice de Liquidez IL es el índice utilizado para medir a escala el contenido de humedad natural de una muestra de suelo, respecto de los límites líquido y plástico (indirectamente sirve para tener una medida aproximada de la resistencia del material), siendo definido como:

$$IL = \frac{w_n - LP}{IP}$$

- Donde  $w_n$  es el contenido de humedad natural (el encontrado en campo o en estado natural) de la muestra en cuestión. IL compara el contenido natural de humedad que presenta un suelo en el campo con LL y LP, y es un excelente indicador de la historia geológica y las propiedades relativas del suelo.
- IL contribuye a evaluar el grado de desecación comparativo en diferentes muestras de suelo, reduciendo la variación debida a la litología, al escalar el contenido de humedad respecto de la plasticidad. También, el índice de liquidez IL, refleja los efectos del contenido de humedad sobre una muestra de suelo remoldeada y saturada.

**Tabla 5-191. Índice de liquidez de suelos**

Sondeo	Referencia	Muestra	Profundidad (m)		IL
			Inicio	Fin	
T01	M01	1	0.00	0.50	0.26
	M02	2	0.50	1.00	0.00
	M04	4	1.50	2.00	-0.09
	M05	5	2.00	2.50	-0.01
	M06	6	3.00	3.50	-0.29
	M07	7	4.00	4.50	0.00
T03	M01	1	0.00	0.50	0.03

Sondeo	Referencia	Muestra	Profundidad (m)		IL
			Inicio	Fin	
	M02	2	0.50	1.00	-0.16
	M04	4	1.50	2.00	-0.28
	M05	5	2.00	2.50	-0.42
	M02	2	0.50	1.00	-0.39
	M03	3	1.00	1.50	-0.28
T15	M01	1	0.00	0.50	0.03
	M02	2	0.50	1.00	-0.39
	M03	3	1.00	1.50	-1.00
	M04	4	1.50	2.00	-0.63
	M06	6	2.50	3.00	-1.25
T17-1	M01	1	0.00	0.50	0.01
	M02	2	0.50	1.00	0.17
T17-2	M01	1	0.00	0.40	0.02

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

En este caso y de acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 5-191 la mayoría de los valores se encuentran menores a 0 el material puede inferir que el suelo presente en el área puede presentar una fractura rígida al ser sometido a cargas, porque el contenido natural de humedad  $w_n$  es menor que el límite plástico LP. En este caso el suelo estará en estado sólido a semi sólido.

#### 5.1.10.2.2.9.3 Ensayos químicos

La evaluación de la agresividad del suelo se efectúa teniendo en cuenta los siguientes ensayos y mediante acuerdo entre las partes se aplica la metodología planteada en las normas de “American Water Works Association – AWWA” en la cual en su norma C-105 se presenta un sistema de clasificación de agresividad del suelo para elementos metálicos enterrados.

- Presencia de nivel freático
- Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)
- Potencial redox (mV)
- pH (un)
- Cloruros (ppm)\*
- Sulfatos (ppm)\*

\*Ensayos para evaluar la corrosión del concreto.

En la Tabla 5-192 se asignan los índices de valoración de agresividad a estructuras metálicas. En la Tabla 5-193 se presenta la clasificación del índice de agresividad de acuerdo con el puntaje obtenido en cada una de las estructuras.

**Tabla 5-192. Clasificación parámetros de agresividad química.**

Parámetro	Características	Valoración
Humedad	Siempre Húmedo	2
	Generalmente Húmedo	1
	Generalmente seco	0
Resistividad del suelo ( $\Omega$ -cm)	<700	10
	700-1000	8
	1000-1200	5
	1200-1500	2
	>2000	0
Potencial redox (mV)	>100	0
	50-100	3,5
	0-50	4
	<0	5
pH (un)	0-2	5
	2-abr	3
	4-6.5	0
	6.5-7.5	0
	7.5-8.5	0
	>8.5	3

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

**Tabla 5-193. Tabla de clasificación agresividad química.**

Índice	Agresividad del suelo
0 a 2	Muy poco corrosivo
2 a 5	Poco corrosivo
5 a 8	Moderado

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		Rev. No.: 4	2024-08-08

Índice	Agresividad del suelo
> 8	Muy corrosivo

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

En la Tabla 5-194 se presentan los resultados de los ensayos mencionados. En cada uno de los puntos de torre se tomaron registraron las mediciones respectivas. La tabla presenta la identificación mediante el número de estructura y los valores de las medidas obtenidas para los parámetros investigados.

**Tabla 5-194. Resultados de ensayos y agresividad química.**

Torre	Nivel freático	pH	Sulfatos	Cloruros	Redox	Resistividad	Agresividad en cimentaciones metálicas
	s/n	(Un)	mg/l	mg/kg	mV	ohm-m	
T01	n	7.20	1514.44	233.53	132.00	479.00	Sumamente agresivo
T03	n	7.20	1255.56	81.94	67.00	532.00	Sumamente agresivo
T15	n	7.00	960.00	6145.00	113.00	4680.00	Sumamente agresivo
T17	n	7.30	1804.44	180.27	73.00	454.00	Sumamente agresivo

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

De acuerdo con los resultados obtenidos de ensayos químicos, no se recomienda el uso de parrillas metálicas en ninguno de los sitios de torre, ya que presenta suelos sumamente agresivos, esto gobernado principalmente por los valores bajos de resistividad eléctrica, lo que indica una alta conductividad del suelo y por tanto presencia de agua lo cual puede generar corrosión en las cimentaciones metálicas.

Con el fin de garantizar los requisitos de durabilidad de las estructuras de concreto en el proyecto, se presentan en la Tabla 5-195 los resultados de la asignación de las clases de exposición, de acuerdo con la severidad de la exposición anticipada de los elementos de concreto estructural para cada categoría, según la tabla C.4.2.1 del Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR 10. Aclarando que el valor de  $f'_c$  min corresponde a la resistencia mínima del concreto para oponer resistencia al ataque químico, de acuerdo con las solicitudes estructurales se definirá dicho valor que debe ser igual o mayor.

**Tabla 5-195. Tabla de agresividad química al concreto**

Torre	a/mc	f'cmin	Aire	Tipo Cemento	Tipo Cemento	Tipo Cemento	Contenido max. lones CL	Limite en los cementantes	Aditivo de cloruro de calcio
			F	ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157			
T01	0.45	31	N/A	V‡	**	HS	0.15	N/A	No se permite
T03	0.5	28	N/A	II‡	*	MS	0.15	N/A	S/R
T15	0.5	28	N/A	II‡	*	MS	0.15	N/A	S/R
T17	0.45	31	N/A	V‡	**	HS	0.15	N/A	No se permite

*Fuente: NSR10 modificado por INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022*

### 5.1.10.3 Análisis geotécnico

A través de los estudios de suelo que se presentan en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA, se abordan los análisis que definen las características geotécnicas del terreno en el área de estudio, determinando a través de exploración directa y ensayos de laboratorio la presencia de depósitos sin consolidación o coberturas de suelos, cuyo comportamiento geotécnico sea importante en la estabilidad del terreno.

#### 5.1.10.3.1 Subestación

A continuación, se presenta una síntesis de los hallazgos del análisis geotécnico elaborado para el proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios, por medio del estudio de suelos para ingeniería y geotecnia elaborado por INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A.<sup>150</sup>. Para ampliar la información presentada en este numeral se puede remitir al ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

El plan de exploración llevado a cabo en el sitio del proyecto consistió en 12 sondeos donde se llegó a las profundidades de 2 – 3,50 metros, además de la realización de varios apiques cuya profundidad fue de 0,5 metros.

A las muestras extraídas se realizaron ensayos de clasificación (Granulometrías, índices de consistencia de contar con el material, humedades y pesos unitarios).

En general, la consistencia de los materiales encontrados es firme. Los valores altos del N de campo predominan en los suelos encontrados a profundidades de 1,50 m aproximadamente. Esto también es debido a los contenidos de humedad obtenidos, ya que se infiere que los materiales se encuentran secos, es decir en estado sólido o semisólido.

<sup>150</sup> INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A. Op Cit.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A través de los sondeos realizados se pudo evidenciar que no se contó con nivel freático a lo largo de los sondeos. Cabe resaltar que estos fueron realizados en una época seca del año.

Se recomienda el uso de cimentaciones superficiales tipo zapatas para realizar los cimientos de las estructuras proyectadas dentro de la zona del proyecto.

Las excavaciones para la construcción de las Cimentaciones podrán ejecutarse con taludes verticales, debido a la consistencia areno cohesiva del material. En caso de presentarse inestabilidades no previstas en la fase de diseño, el constructor deberá garantizar las condiciones de trabajo adecuadas mediante la instalación de elementos de contención temporales, según la disponibilidad de materiales y equipos en cada sector. Estas excavaciones podrán ser realizadas hasta una profundidad de 2,0 m, luego de esta se deberá hacer uso de entibado el cual deberá ser capaz de soportar el valor máximo alcanzado por el esfuerzo total en la profundidad de la zanja.

Los cálculos y parámetros presentados en el informe (ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA) se fundamentan en la información obtenida durante los trabajos de investigación del subsuelo. Si durante los trabajos de construcción se presentan condiciones diferentes a las planteadas como típicas, o si el proyecto sufre variaciones, deberán realizarse las modificaciones a que haya lugar.

El desarrollo de la obtención de parámetros de diseño tales como ángulo de fricción interna, cohesión no drenada, módulo de elasticidad y capacidad portante, así como análisis de estabilidad de taludes, pueden consultarse en informe de suelos y geotecnia de las torres del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, elaborado por INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A.<sup>151</sup> en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.3.2 Torres

A continuación, se presenta una síntesis de los hallazgos del análisis geotécnico elaborado para las torres del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, por medio del estudio de suelos y geotecnia para ingeniería, elaborado por INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A.<sup>152</sup>. Para ampliar la información presentada en este numeral se puede remitir al ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

En general, la consistencia de los materiales encontrados a lo largo de la línea es firme. Los valores bajos del N de campo predominan superficialmente (Entre 0,0 m y 1,0 m). Esto también es debido a las humedades medias obtenidas, ya que se infiere que los materiales se encuentran en estado sólido o semisólido.

No se encontró sondeos con presencia de nivel freático. Es necesario tener en cuenta que durante los trabajos de exploración la región se encontraba en época seca, por lo que adicionalmente se incluyen análisis de capacidades portantes en condiciones no drenadas,

<sup>151</sup> INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A. Convocatoria pública UPME 03 2021 Línea de Transmisión Carrieles-intercepción LT Ancon Sur-Esmeralda II a 230 kv. Bogotá. 2022

<sup>152</sup> Ibid

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

debido al tipo de material que predomina en los puntos de torre (cohesivo) y contenidos de humedad.

En general se obtienen valores de capacidad portante de entre 129 kPa y 455 kPa definidos en 5 zonas con características propias, sin embargo, se recomienda ejecutar estudios de suelos que permitan garantizar las condiciones de suelo en las estructuras sobre las cuales no fue posible ejecutar los trabajos de campo.

Las recomendaciones de cimentación superficial comprenden el uso de zapatas en concreto, ya que por los resultados de agresividad química no se recomienda este tipo de cimentación susceptible a la corrosión, sin embargo, es importante tener en cuenta para las cimentaciones en concreto las recomendaciones por presencia de sulfatos en suelo. De acuerdo con la resistencia del suelo no se presenta la necesidad de cimentaciones especiales o profundas.

Las excavaciones para la construcción de las Cimentaciones podrán ejecutarse con taludes verticales a pendiente 1.0/Vertical: 0.25/Horizontal, debido a la consistencia areno cohesiva del material. En caso de presentarse inestabilidades no previstas en la fase de diseño, el constructor deberá garantizar las condiciones de trabajo adecuadas mediante la instalación de elementos de contención temporales, según la disponibilidad de materiales y equipos en cada sector. El material proveniente de las excavaciones podrá ser utilizado como material de relleno en las cimentaciones superficiales, siempre y cuando se seleccione y retire la materia orgánica que pueda contener.

Con el objeto de facilitar los procesos de construcción y evitar el remoldeo del suelo de fundación, se deberá mantener durante la ejecución de las excavaciones y construcción de la cimentación, un sistema de bombeo para evacuar las aguas que puedan fluir hacia la excavación, con el fin de mantenerla seca en todo momento y evitar el apozamiento (en caso de aguas lluvias y/o niveles freáticos colgados por invierno).

El desarrollo de la obtención de parámetros de diseño tales como ángulo de fricción interna, cohesión no drenada, módulo de elasticidad y capacidad portante pueden consultarse en informe de suelos y geotecnia de las torres del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, elaborado por INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A.<sup>153</sup> en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA.

#### 5.1.10.3.2.1 *Parámetros de diseño y tipo de cimentación*

Según las exploraciones geotécnicas realizadas se pudo evidenciar que en la profundidad de los sondeos se cuenta principalmente con estratos de Arcilla de consistencia mediana, húmeda y en ciertos casos con estratos delgados de Arena arcillosa o limosa. De igual manera se identificó en un sitio arenas densas. A partir de estos registros de perforación y de las inspecciones visuales hechas en campo sobre las muestras se puede definir que en general los predios de subestación contarán con un suelo de comportamiento cohesivo frente a las cargas que se vayan a aplicar sobre este.

<sup>153</sup> Ibid



Esto se puede confirmar de igual manera a través de los ensayos de laboratorio. A través de los ensayos de granulometría se evidencio que casi la totalidad de las muestras cuentan con un porcentaje de material fino promedio de 75%. De igual manera a través de los ensayos de consistencia se pudo evidenciar limites líquidos mayores a 30% e índices de plasticidad mayores a 10%. A partir de esto se puede definir un comportamiento cohesivo para el suelo encontrado en el sitio del proyecto. Esto igualmente de acuerdo con las especificaciones dadas en la norma sismo resistente NSR-10 el en numeral H.2.5 se clasifican de la siguiente manera. A continuación, se presenta el comportamiento de los suelos en los sitios estudiados (Tabla 5-196).

**Tabla 5-196. Clasificación del comportamiento del suelo.**

Torre	Comportamiento NSR10
T01	Cohesivo
T03	Cohesivo
T15	Cohesivo
T17	Cohesivo

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

Dicho esto, es posible recomendar la condición a corto plazo para el diseño de la cimentación en los sitios de condición cohesiva, esto teniendo en cuenta que, al ser suelos normalmente consolidados, teniendo en cuenta su litología, presentan su condición más desfavorable en condición no drenada.

#### 5.1.10.3.2.1.1 Parámetros de resistencia por sitio de torre

Para cada una de las estructuras se recomiendan ensayos para parámetros de resistencia según el tipo de suelo, teniendo en cuenta aspectos tales como la resistencia del suelo, humedad, granulometría y descripciones de campo y profundidad esperada de cimentación.

A continuación, se presentan los parámetros de resistencia del suelo en los sitios estudiados (Tabla 5-197).

**Tabla 5-197. Parámetros de resistencia del suelo.**

Torre	Comportamiento	Cohesión no drenada (kPa)	Angulo de fricción (°)	Tipo Cimentación recomendada
T01	Cohesivo	54	0	Superficial
T03	Cohesivo	106	0	Superficial
T15	Cohesivo	78	0	Superficial
T17	Cohesivo	200	0	Superficial

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

#### 5.1.10.3.2.2 Capacidad portante de cimentaciones

Los resultados obtenidos para el análisis de capacidad portante para cimentaciones tipo zapatas aisladas, suponiendo un ancho de zapata de referencia  $B = 2.0$  m (debido a la condición de análisis no drenada la capacidad portante no está en función de las

dimensiones de la cimentación sino de los parámetros de resistencia y la profundidad de desplante), y tres diferentes niveles de desplante. Se presentan condiciones saturadas, teniendo en cuenta que en los suelos cohesivos (condiciones no drenadas) la capacidad es la misma en los dos casos.

A continuación, se presentan los valores de capacidad portante del suelo en los sitios estudiados (Tabla 5-198).

**Tabla 5-198. Análisis de capacidad portante**

Zona	Com porta	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Su (kPa)	Φ' (°)	Q ultima (kPa)				Q admisible (kPa)			
					Nivel de desplante Df				Nivel de desplante Df			
					1.5	2	2.5	3	1.5	2	2.5	3
1	Cohesivo	17.4	100	0	694	703	712	720	231	234	237	240
2	Cohesivo	18.1	54	0	388	397	406	415	129	132	135	138
3	Granular	19.6	0	35	135 5	168 2	200 8	233 4	452	561	669	778
4	Cohesivo	19.5	78	0	550	560	570	580	183	187	190	193
5	Cohesivo	18.1	200	0	136 4	137 3	138 2	139 1	455	458	461	464

Fuente: INGEDISA, Ingeniería y Diseño S.A., 2022

#### 5.1.10.4 Modelos de estabilidad de taludes sitios de torre T1-M, T-3M y T-5M

Los sitios de torre T-1M, T-3M y T-5M se ubican en zona de estabilidad geotécnica alta, alta y muy alta, respectivamente. Sin embargo, al analizar la localización de procesos morfodinámicos se encontró que los únicos sitios de torres cercanos a procesos de tipo movimiento en masa, corresponde a los de las torres T-1M, T-3M y T-5M. Se aclara que de los tres (3) sitios de torre mencionados, el sitio de la torre T-5M presenta mayor cercanía a un movimiento en masa, sin embargo, el sitio de torre no se encuentra afectado de por dicho movimiento en masa, tomando en cuenta que estos se encuentran separados entre sí y que, además, el sitio de torre se encuentra ubicado aguas arriba con respecto al movimiento en masa.

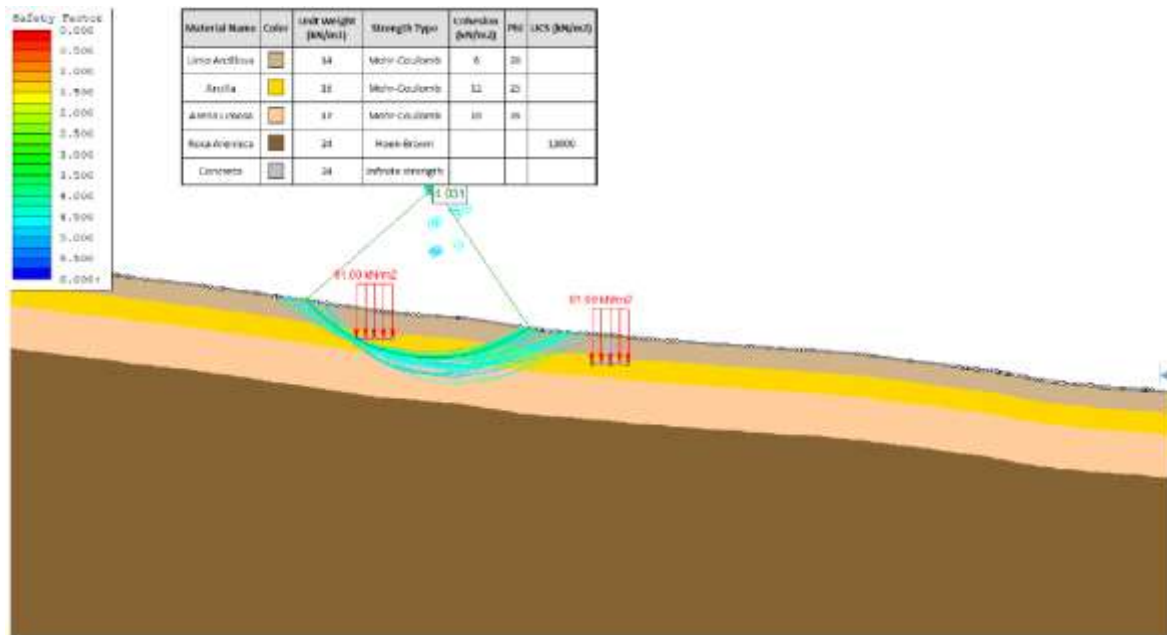
Tomando como criterio, la cercanía de sitios de torres a procesos morfodinámicos de tipo movimiento en masa, se procedió a desarrollar un análisis de los factores de seguridad del terreno en la ladera donde se ubican los sitios de las torres T-1M, T-3M y T-5M.

El detalle de los análisis realizados se puede consultar en el informe del ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA- ESTABILIDAD SITIOS TORRES T-1M\_T-3M\_T-5M.

- Modelo de estabilidad ladera sitio de torre T-1M

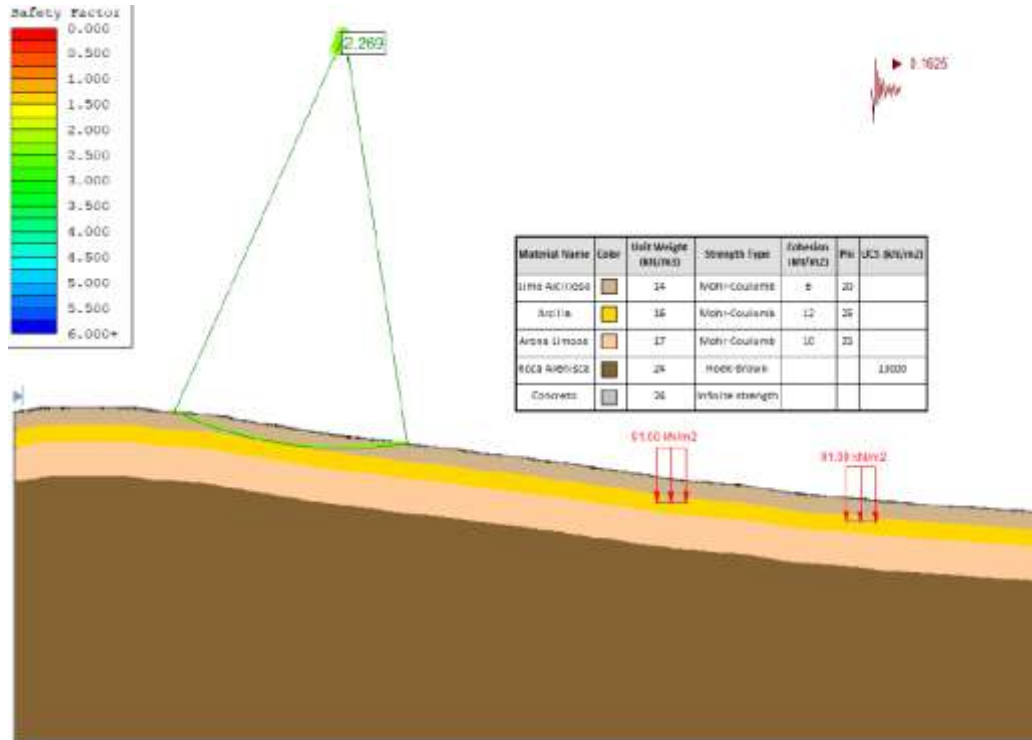
A continuación, se presentan los modelos de estabilidad de la ladera del sitio de torres en condición estática, escenario que no considera la condición de sismo ni la presencia de nivel freático ya que mediante la exploración realizada en campo no se detectó la presencia de este. Además, se presenta el resultado en condición seudo estática, en el cual se utiliza el coeficiente de fuerza sísmica calculada.

Los resultados indican que en condiciones estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 4,03 (Figura 5-140) mientras que en condiciones seudo estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 2,26 (Figura 5-141).



**Figura 5-140. Estabilidad del talud del sitio de torre T-1M en condiciones estáticas.**

*Fuente: SAG, 2024*



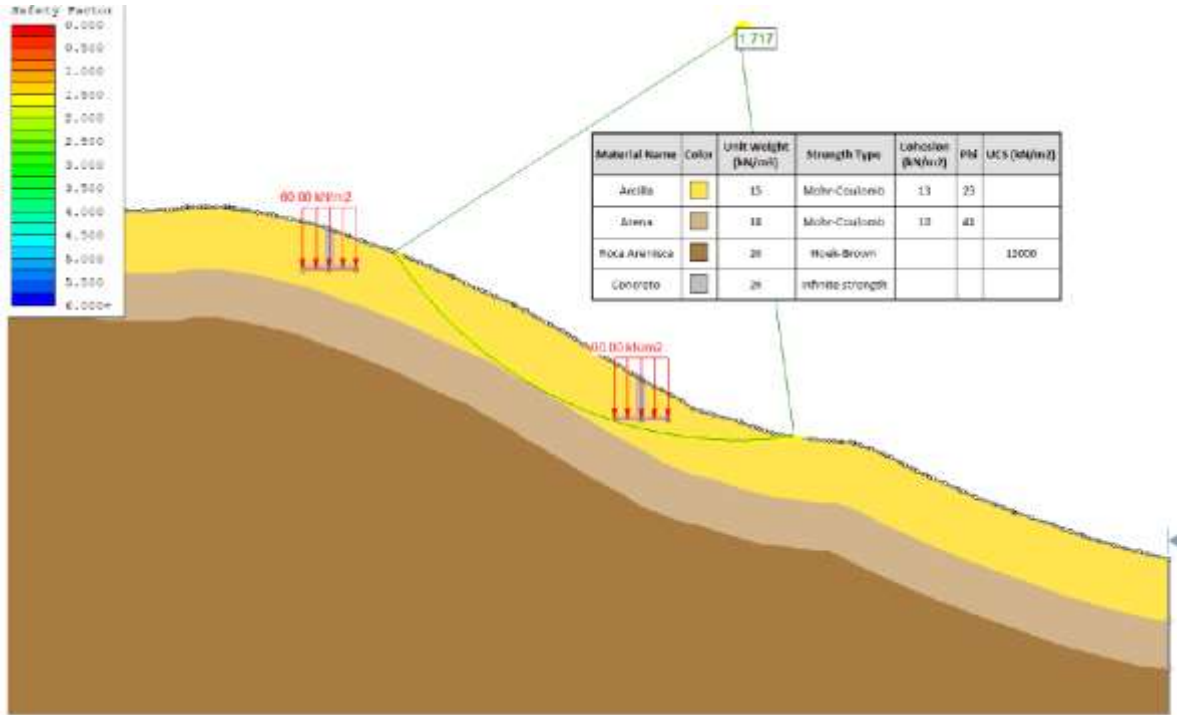
**Figura 5-141. Estabilidad del talud del sitio de torre T-1M en condiciones seudo estáticas.**

Fuente: SAG, 2024

- Modelo de estabilidad ladera sitio de torre T-3M

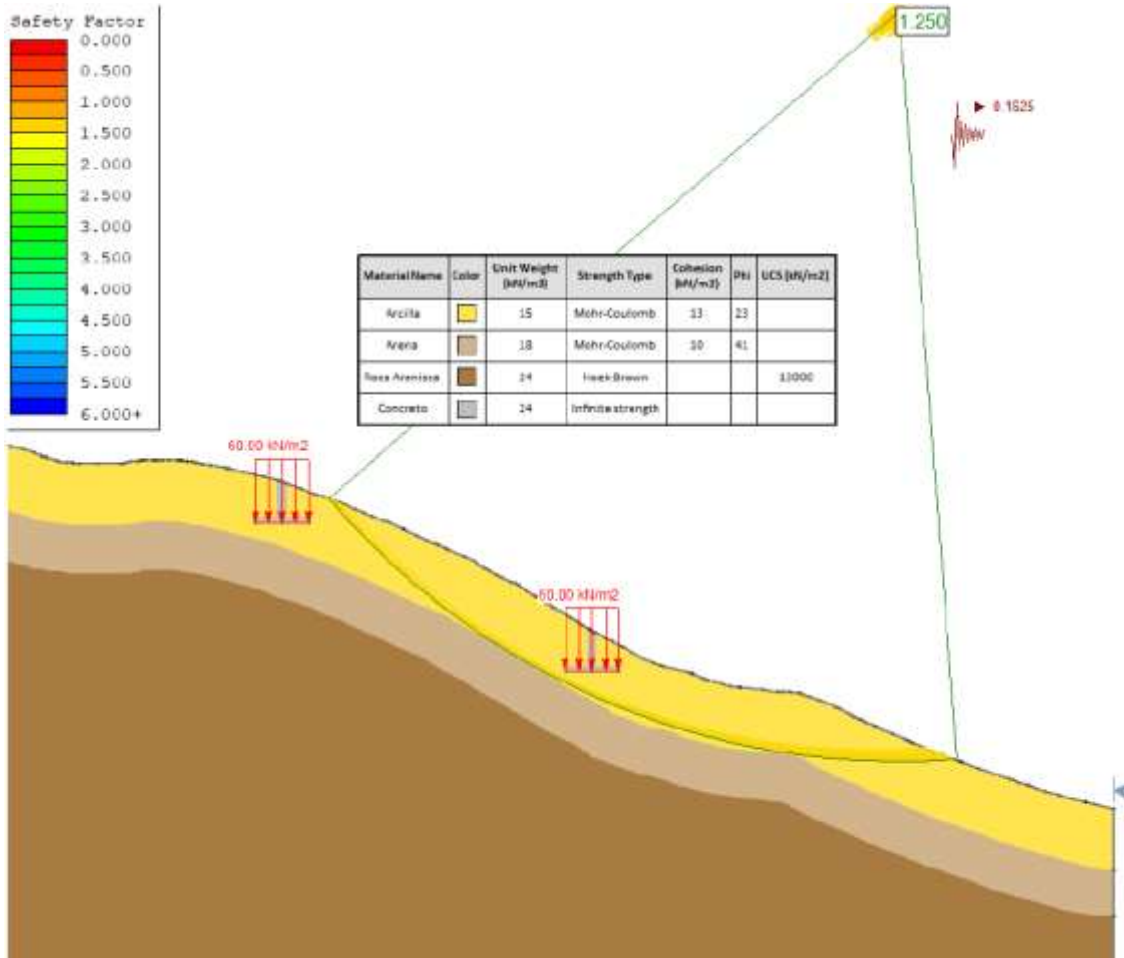
A continuación, se presentan los modelos de estabilidad de la ladera del sitio de torres en condición estática, escenario que no considera la condición de sismo ni la presencia de nivel freático ya que mediante la exploración realizada en campo no se detectó la presencia de este. Además, se presenta el resultado en condición seudo estática, en el cual se utiliza el coeficiente de fuerza sísmica calculada.

Los resultados indican que en condiciones estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 1,71 (Figura 5-142) mientras que en condiciones seudo estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 1,25 (Figura 5-143).



**Figura 5-142. Estabilidad del talud del sitio de torre T-3M en condiciones estáticas.**

*Fuente: SAG, 2024*



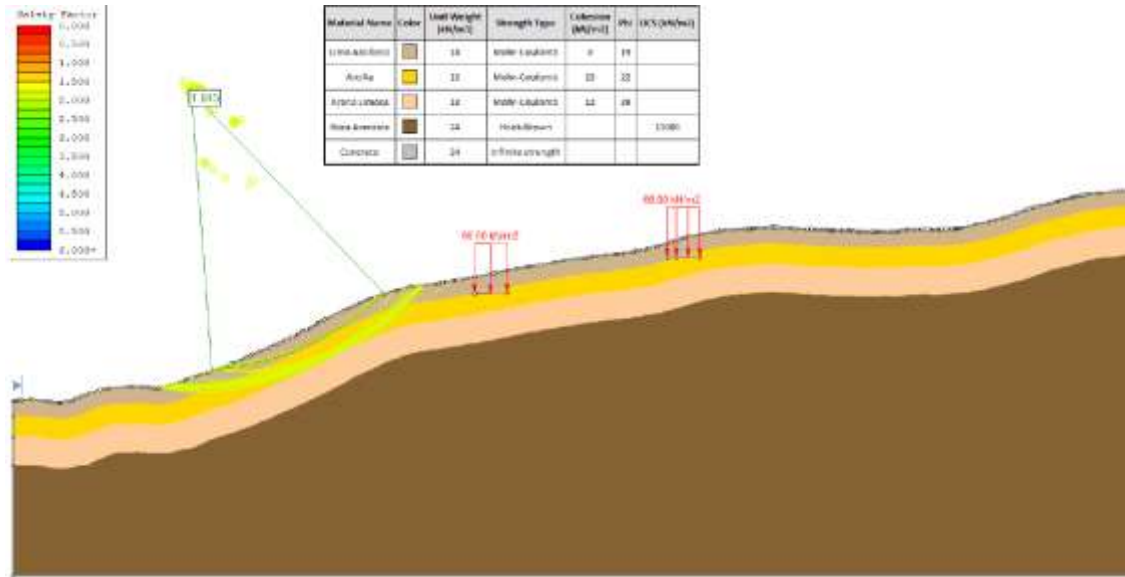
**Figura 5-143. Estabilidad del talud del sitio de torre T-3M en condiciones seudo estáticas.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Modelo de estabilidad ladera sitio de torre T-5M

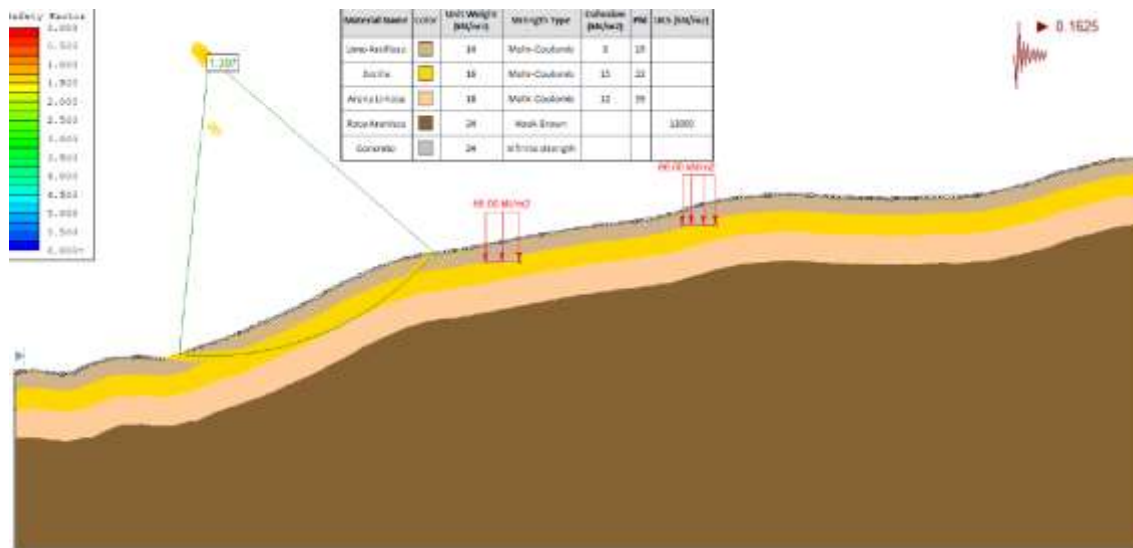
A continuación, se presentan los modelos de estabilidad de la ladera del sitio de torres en condición estática, escenario que no considera la condición de sismo ni la presencia de nivel freático ya que mediante la exploración realizada en campo no se detectó la presencia de este. Además, se presenta el resultado en condición seudo estática, en el cual se utiliza el coeficiente de fuerza sísmica calculada.

Los resultados indican que en condiciones estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 1,85 (Figura 5-144) mientras que en condiciones seudo estáticas el talud cuenta con un factor de seguridad de 1,31 (Figura 5-145).



**Figura 5-144. Estabilidad del talud del sitio de torre T-5M en condiciones estáticas.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-145. Estabilidad del talud del sitio de torre T-5M en condiciones pseudo estáticas.**

*Fuente: SAG, 2024*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Una vez realizados los análisis de estabilidad en las torres planteadas, se identifica que en todos los casos se cuenta con un factor de seguridad superior a los mínimos establecidos en la NSR-10 para los escenarios estáticos y dinámicos (Tabla 5-199). A partir de esto se evidencia que los sitios de estructura cuentan con una estabilidad apropiada. A continuación, un resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 5-199. Resultados de factor de seguridad.**

Torre	FS Estático	FS pseudo estático
T-1M	4,03	2,27
T-3M	1,72	1,25
T-5M	1,85	1,31

Fuente: Norma colombiana sismo resistente NSR-10 (2010)

Los resultados detallados de la estabilidad de taludes se pueden consultar en el ANEXO\_5\_1\_13\_GEOTECNIA- ESTABILIDAD SITIOS TORRES T-1M\_T-3M\_T-5M.

Para evaluar la estabilidad, se tomó como referencia el criterio de clasificación de amenaza en taludes establecido por el Servicio Geológico Colombiano<sup>154</sup>, el cual se presenta a continuación (Tabla 5-200).

**Tabla 5-200. Clasificación de la amenaza en un talud.**

Nivel de amenaza	Factor de seguridad
Alta	<1.1
Media	1.1<FS<1.5
Baja	>1.5

Fuente: SGC, 2016<sup>155</sup>

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y la clasificación de amenaza en taludes del Servicio Geológico Colombiano<sup>156</sup> es posible determinar la categoría de amenaza en los taludes de los sitios de torre T-1M, T-3M y T-5M la cual se presenta a continuación (Tabla 5-201).

<sup>154</sup> Servicio Geológico Colombiano. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá. 2016

<sup>155</sup> Ibid

<sup>156</sup> ibid



**Tabla 5-201. Categoría de amenaza taludes de sitios de torre analizados.**

Torre	Condiciones estáticas	Condiciones seudo estáticas
T-1M	Baja	Baja
T-3M	Baja	Media
T-5M	Baja	Media

Fuente: Norma colombiana sismo resistente NSR-10 (2010)

A partir de los resultados de la categoría de amenaza obtenidos, es posible observar que en condiciones estáticas todas las torres analizadas presentan estabilidad baja, con lo cual no requerirían medidas de mitigación. Sin embargo, de acuerdo con los resultados, en condiciones seudo estáticas las torres T-3M y T-5M presentan amenaza media con lo cual se deben plantear medidas de mitigación para dichos sitios de torre.

En el numeral *10.1 Plan de Manejo Ambiental*, dentro del programa *CARR-PMA-A02 - Programa de manejo para la conservación geotécnica y estabilidad del suelo* se presentan las medidas de mitigación que se deben aplicar de manera específica en los sitios de las torres T-3M y T-5M.

### 5.1.11 Atmósfera

A continuación, se presenta la caracterización del componente atmosférico del área de influencia del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, identificando las principales fuentes de contaminantes atmosféricos y ruido ambiental, describiendo las condiciones meteorológicas y determinando los niveles de concentración de contaminantes y de ruido ambiental a partir de información secundaria y de los monitoreos realizados (información primaria).

#### 5.1.11.1 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas





Ante la solicitud realizada a Corantioquia en la cual se requirió el listado de permiso de emisiones atmosféricas referida como “Información para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Interconexión carrieles a 230 mil voltios” se recibió respuesta de la Corporación mediante el radicado 160-COI2311-38467 (ver ANEXO\_5\_1\_14\_RTA\_CORANTIOQUIA, específicamente el numeral 7) que no se registra permisos de emisiones atmosféricas s en las veredas Cauca (Jericó) y Puente Iglesias (Fredonia).

Para identificar las fuentes de emisiones atmosféricas presentes en el área de influencia abiótica, se reconocieron las fuentes cercanas a los puntos de monitoreo de calidad de aire.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Las fuentes de contaminación atmosférica identificadas en cada punto de monitoreo se describen de la Tabla 5-202 a la Tabla 5-204 donde adicionalmente se presenta el registro fotográfico y su ubicación en el sistema MAGNA Colombia / Origen Nacional.

**Tabla 5-202. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1.**

<p>Estación ubicada sobre un andamio, Al sur de la vía Primaria pavimentada de alto flujo vehicular que comunica a Bolombolo con la Pintada, instalado en la hacienda Las Palmeras, cuenta con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Zona de carga de Cítricos.</li> <li>-Vía secundaria sin pavimentar de bajo flujo vehicular.</li> <li>-Vía primaria de alto flujo vehicular</li> </ul>			
<b>REGISTRO FOTográfico</b>			
			
<b>ZONA DE CARGA DE CÍTRICOS</b> N: 5°48'56.13" O: 75°41'20.38"		<b>VÍA SECUNDARIA</b> N: 5°48'55.05" O: 75°41'20.23"	
			
<b>VÍA PRIMARIA A LA PINTADA</b> N: 5°49'2.55" O: 75°41'12.91"		<b>VÍA PRIMARIA A BOLOMBOLO</b> N: 5°49'3.18" O: 75°41'12.83"	



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

**Tabla 5-203. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2.**

Estación ubicada sobre un andamio, al sur de la vía terciaria sin pavimentar de bajo flujo vehicular, instalado en la finca Veracruz, cuenta con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión:

- Chimenea doméstica.
- Vía sin pavimentar.

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**CHIMENEA DOMESTICA**  
N: 5°49'50.21" O: 75°42'17.83"











**VIA SIN PAVIMENTAR**  
N: 5°49'52.27" O: 75°42'16.20"



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

**Tabla 5-204. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 3.**

Estación ubicada sobre un andamio, Al sur de la vía terciaria destapada de bajo flujo vehicular que comunica a Puente iglesias con Agrotunez, instalado en la hacienda Agrotunez, cuenta con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: -Chimenea domestica(tractores) -Vía terciaria sin pavimentar de bajo flujo vehicular.			
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>			
			
<b>CHIMENEA DOMESTICA (TRACTORES)</b> N: 5°48'43.48" O: 75°39'24.11"		<b>VÍA SIN PAVIMENTAR DE INGRESO</b> N: 5°48'45.54" O: 75°39'24.40"	
			
<b>VÍA TERCIARIA A AGROTUNEZ</b> N: 5°48'47.13" O: 75°39'24.84"		<b>VÍA TERCIARIA A PUENTE IGLESIAS</b> N: 5°48'47.64" O: 75°39'26.14"	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE</b></p> <p>Escribe una descripción para tu mapa.</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Chimenea domestica(tractores)</li> <li> E3-AGROTUNEZ</li> <li> VIA TERCIARIA</li> </ul> </div> </div> 			

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

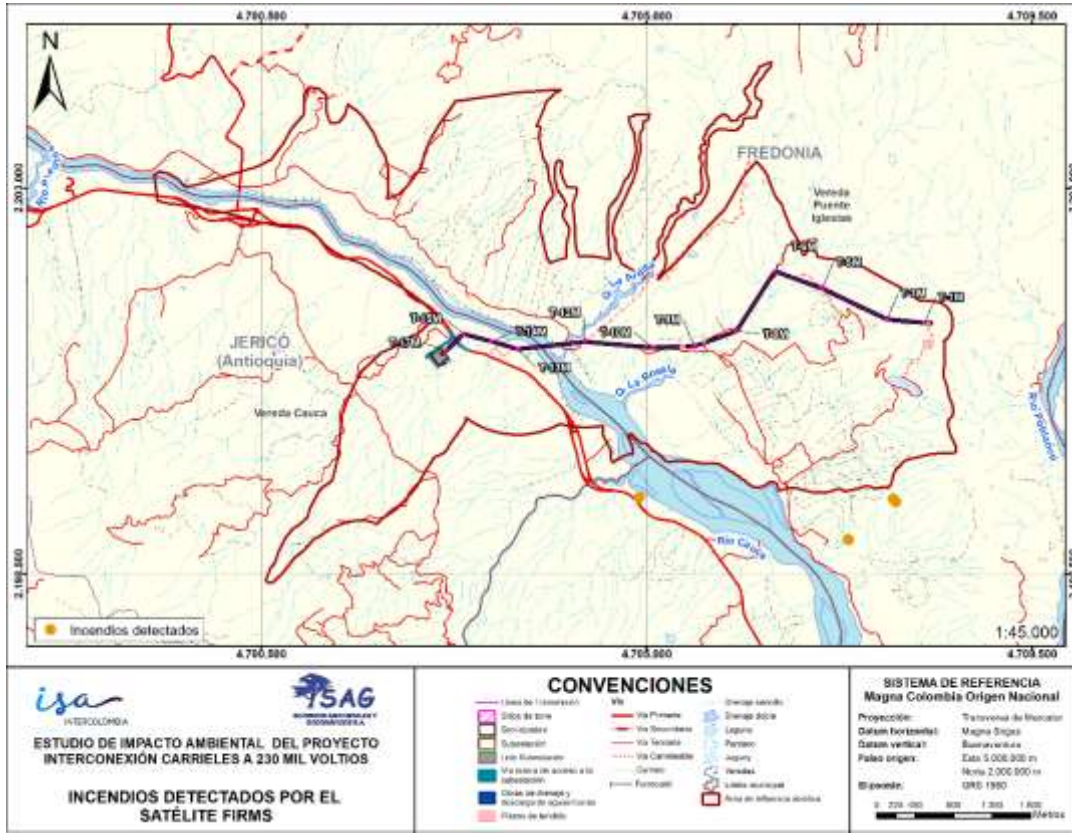
#### 5.1.11.1.1 Fuentes dispersas

Existen una gran variedad de fuentes que pueden considerarse como dispersas, por lo que su identificación puede llegar a ser un proceso complicado. Recientemente se han desarrollado estudios como el de Chacón Rivera<sup>157</sup>, en el cual se menciona que una de las principales fuentes de las consideradas “Dispersas”, que pueden afectar la calidad del aire a grandes distancias en ambientes rurales y urbanos son los incendios

A través del Sistema de Información de Incendios para el Manejo de Recursos (FIRMS por sus siglas en inglés) de la NASA<sup>158</sup>, el cual distribuye datos de incendios activos en tiempo casi real (NRT) dentro de las 3 horas posteriores al paso del satélite desde el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) y el conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS), se identificó que desde el año 2018 al año 2023 existen registros con la intensidad suficiente para ser teledetectados y almacenados con una baja periodicidad; en la Figura 5-146 se presentan los registros descargados de la base de datos FIRMS y en la Tabla 5-205 se discretiza el número de incendios detectados por mes donde se evidencia que en promedio marzo y agosto presentan la mayor cantidad de incendios en la zona.

<sup>157</sup> CHACÓN RIVERA, Lina María. Efecto de los Incendios Forestales Sobre la Calidad del Aire en dos Ciudades Colombianas [En línea]. <<http://bdigital.unal.edu.co/53148/1/52086917.2015.pdf>>. Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, 2015. p. 57 – 59. [Consultado: 7 de marzo de 2018].

<sup>158</sup> FIRMS, NASA. (n.d.). Retrieved February 13, 2019, from <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>.



**Figura 5-146. Incendios detectados por el satélite FIRMS**

Fuente: SAG, 2024

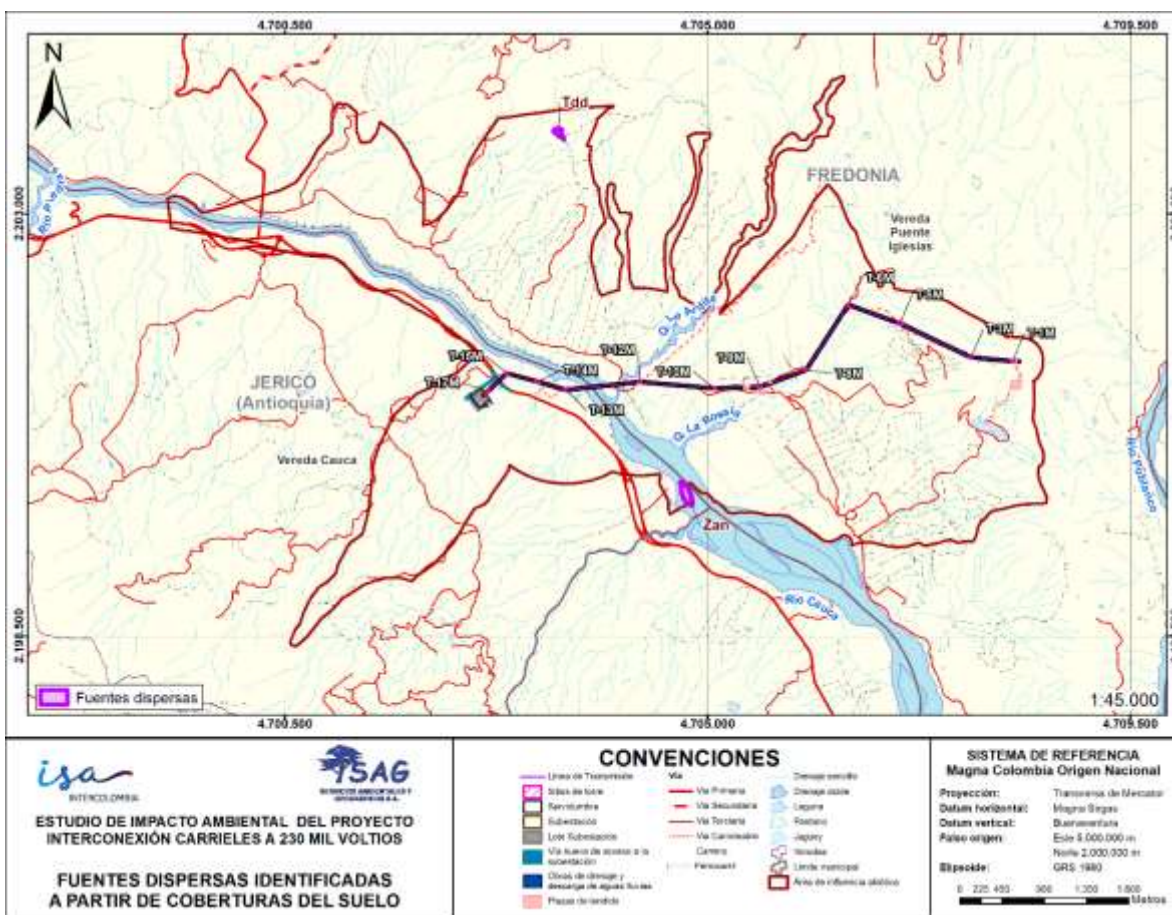
**Tabla 5-205. Número de incendios teledetectados por mes y año.**

Mes \ Año	2018	2019	2020	2021	2022	Promedio
1	1	13	19	5	6	8.8
2	6	11	42	3	7	13.8
3	26	6	33	2	8	15
4	7	1	5	0	0	2.6
5	0	1	5	2	3	2.2
6	5	1	4	1	0	2.2
7	9	14	5	8	5	8.2
8	19	46	7	1	2	15
9	1	17	3	9	0	6
10	2	1	0	1	0	0.8
11	1	2	0	0	0	0.6

Mes \ Año	2018	2019	2020	2021	2022	Promedio
12	11	3	0	2	0	3.2
<b>Total</b>	88	116	123	34	31	

Fuente: SAG, 2024

A partir de las coberturas de suelo de la cartografía del proyecto, obtenidas implementando la metodología CORINE Land Cover hasta nivel 3, se identificaron como fuentes dispersas de contaminantes las áreas identificadas como Zonas arenosas naturales y las Tierras desnudas y degradadas. En la [Figura 5-147](#) se evidencia la ubicación de estas áreas en el área de influencia abiótica del proyecto.



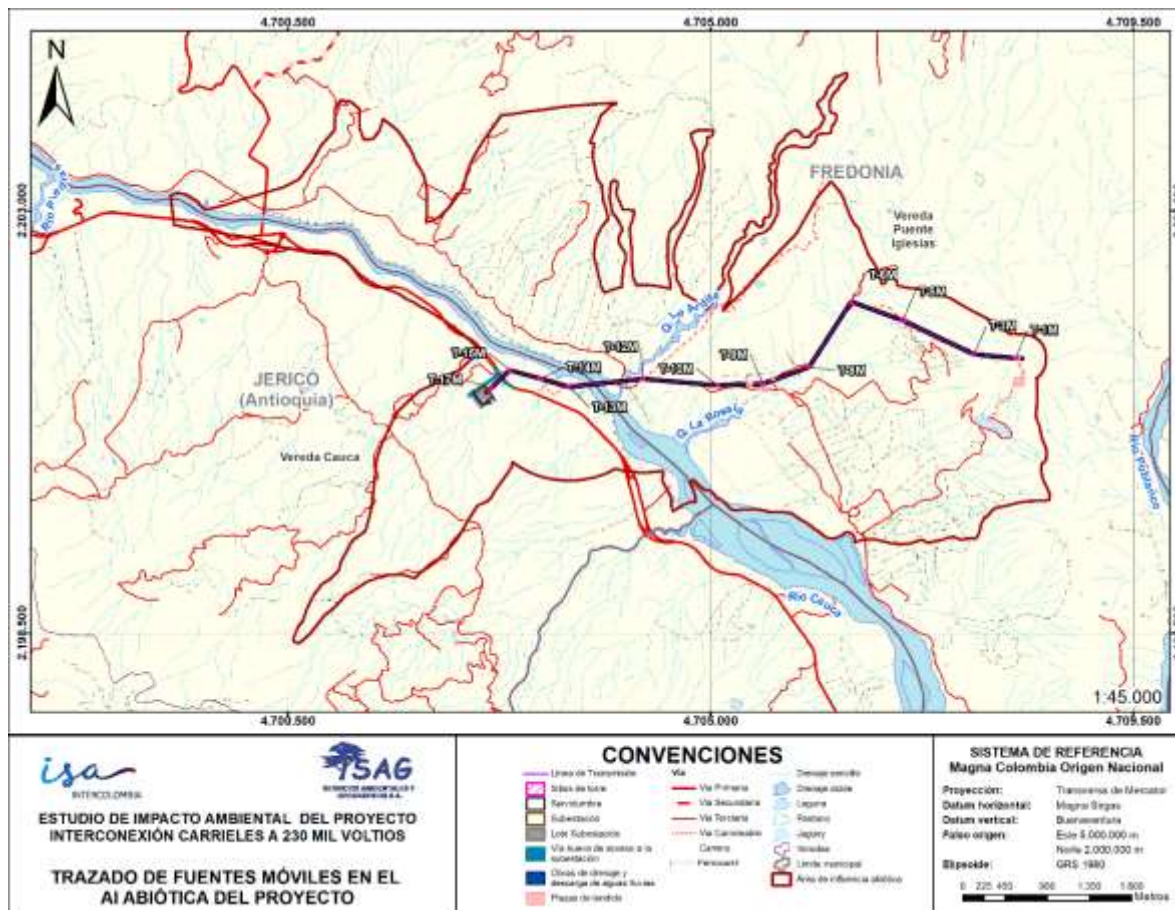
**Figura 5-147. Fuentes dispersas a partir de coberturas del suelo.**

Fuente: SAG, 2024



### 5.1.11.1.2 Fuentes móviles

El tránsito de vehículos es una de las principales actividades contaminantes en cualquier zona, ya que procesos como la Re suspensión y la emisión de gases por exhosto, contribuyen al aumento de las concentraciones de material particulado y gases en el área de influencia, de esta forma se buscó caracterizar el trazado de operación de las fuentes móviles y se estimó su emisión de contaminantes (Figura 5-148).



**Figura 5-148. Trazado de fuentes móviles en el AI abiótica del proyecto.**

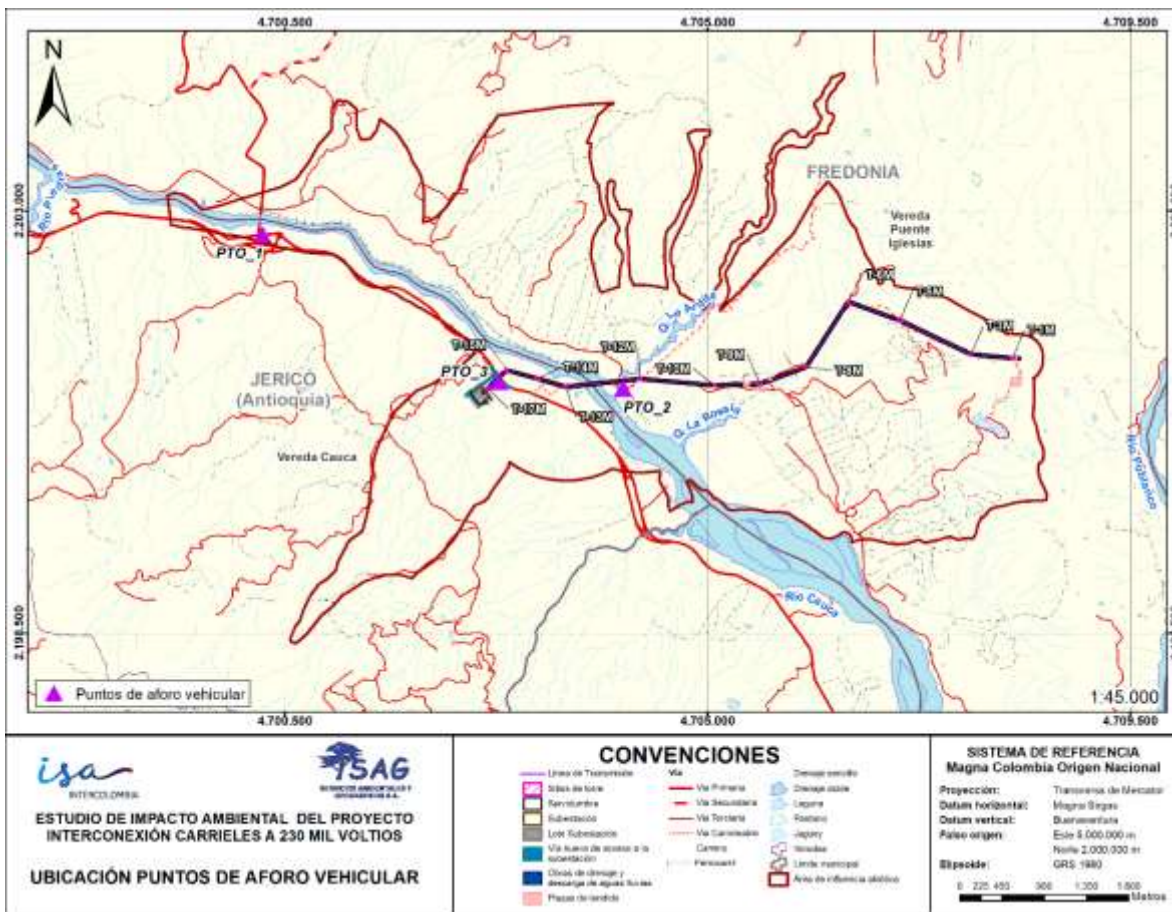
Fuente: SAG, 2024

Con el objetivo de caracterizar los tipos de vehículos y tránsito diario de la flota vehicular que se tiene en la zona de interés, durante el monitoreo de Calidad del aire se realizó un (1) aforo vehicular de 24 horas en tres puntos, tanto para el día hábil (ordinario) como no hábil (dominical), mediante la instalación de cámaras, en la Tabla 5-206 se presentan los puntos de aforo vehicular en sistema MAGNA Colombia /Origen Nacional y en la Figura 5-149 su localización espacial.

**Tabla 5-206. Localización Aforo Vehicular.**

ID	Nombre	Coordenadas WGS84		Magna Sirgas Origen Nacional	
		Latitud	Longitud	Este	Norte
Aforo_1	Puente Iglesias-Jericó	5°49'42.37"	75°42'27.51"	4700264.59	2202751.36
Aforo_2	La Guajira-Fredonia	5°48'49.62"	75°40'22.47"	4704104.29	2201111.37
Aforo_3	Hacienda Bariloche	5°48'51.71"	75°41'5.38"	4702784.08	2201181.79

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-149. Localización aforo vehicular.**

Fuente: SAG, 2024

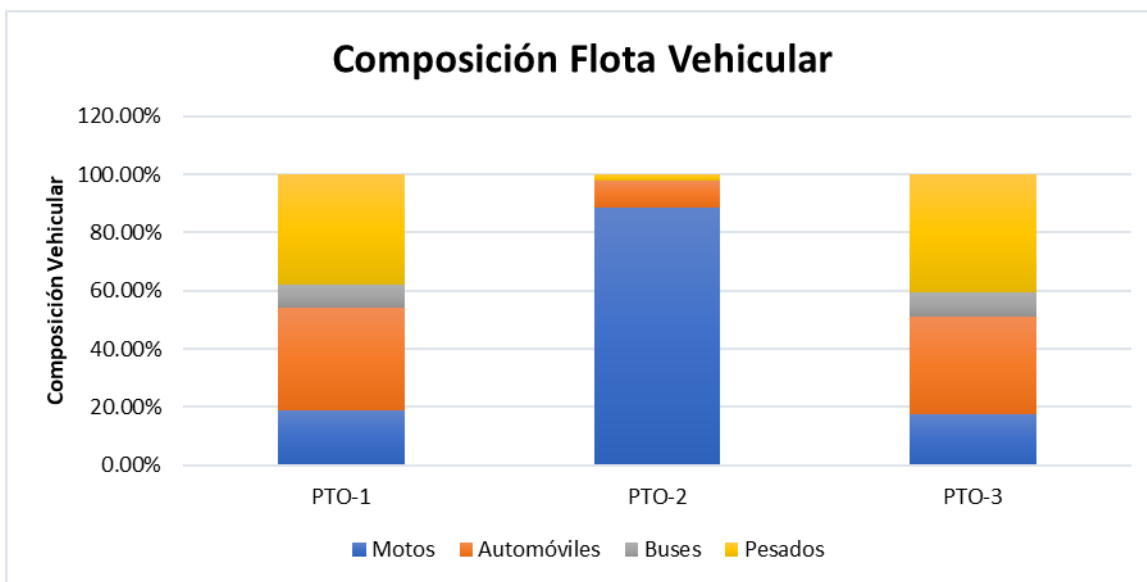
Los datos del aforo se presentan en la Tabla 5-207 y los registros se incluyen en el ANEXO\_5\_1\_15\_MONITOREOS. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de vehículos de acuerdo con la categoría correspondiente para cada punto y se incluye el tránsito promedio diario (TPD). Las vías aforadas corresponden a tipo de vía primarias, secundarias y terciarias las cual se encuentran pavimentadas y sin pavimentar.

**Tabla 5-207. Datos de tránsito diario (TPD) y tipo de flota vehicular.**

Nombre	Tipo de vía	TPD	Motos (%)	Autos (%)	Buses (%)	Camiones (%)
Aforo_1	Terciaria	2019	18.61%	35.63%	7.65%	38.11%
Aforo_2	Placa Huella	284	88.61%	9.07%	0.00%	2.32%
Aforo_3	Principal	5560	17.63%	33.43%	8.39%	40.55%

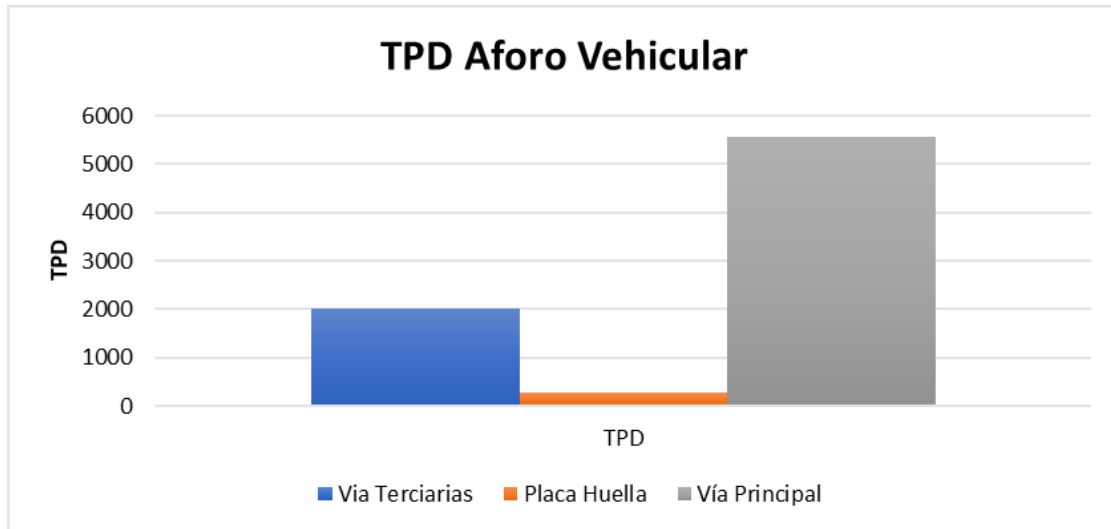
*Fuente: SAG, 2024*

En la Figura 5-150, se puede observar que los vehículos pesados son los que presentan una mayor porción del tráfico con 38% de la composición total, seguido de estos se encuentran los automóviles con una composición del 33%, las motos con 21% y los buses con 7.8%. Se presentó un mayor flujo de vehículos en el punto de aforo 3 con un TPD de 5560 (ver Figura 5-151).



**Figura 5-150. Composición de la flota vehicular.**

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 5-151. Tránsito Promedio diario (TPD).**

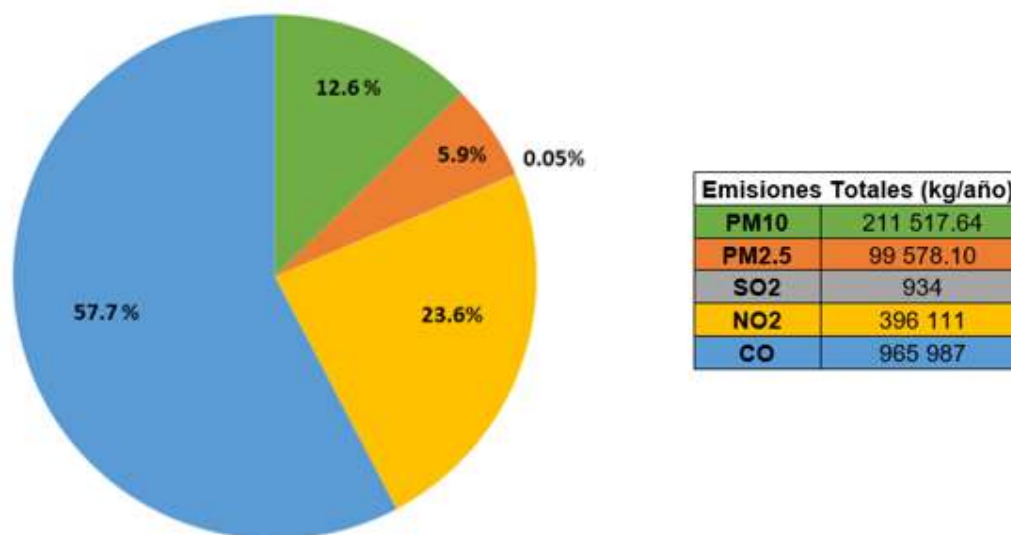
*Fuente: SAG, 2024*

Para el cálculo de las emisiones, los vehículos fueron clasificados por peso y tipo de combustible, vehículos ligeros que mayormente funcionan con gasolina y los pesados con Diesel. Posteriormente, los datos del aforo vehicular obtenidos a partir del estudio realizado por SIAM Ingeniería fueron procesados para describir las emisiones actuales en la vía, tanto de emisiones del tubo de escape como emisiones por Re suspensión. El alcance de la estimación es un año típico desagregado mensualmente, donde las suposiciones realizadas a criterio del profesional que realiza las estimaciones fueron las siguientes:

- Un año de 52 semanas y meses de 1/12 de año.
- Se aplican factores mensuales de atenuación natural inversamente proporcionales al número de días con precipitación superior a 0,254 mm, según lo recomendado por la Environmental Protection Agency (EPA) en el AP42; el número de días por mes se toma a partir de los promedios climatológicos del IDEAM 1981-2010 para la estación Tunez Hda ubicada en las coordenadas 75°39'3.5"W y 5°48'0.7"N en el municipio de Fredonia, Antioquia, la cual es la estación meteorológica más cercana al proyecto.
- Para la vía pavimentada se calcula el factor de emisión recomendado para vías públicas pavimentadas de la sección 13.2.1.3 Paved Roads del AP42 de la EPA, donde el contenido de finos corresponde al de ciudades de altas temperaturas en EE. UU lo que se asemeja a las condiciones particulares de la zona de estudio.
- A partir del tipo de flota vehicular promedio de la zona, obtenida de los aforos vehiculares, se asume un peso promedio ponderado de 6.71 toneladas para la vía, esto considerando el peso de vehículos más vendidos en Colombia para el segmento de vehículos: Motocicletas, automóviles, buses y camiones.

- Para las emisiones en el tubo de escape se usa el modelo IVE, donde las categorías utilizadas corresponden a motocicletas (1.171), automóviles (117) y pesados (1.115), estas fueron definidas por medio de la caracterización del tipo de vehículos en la zona y las bases de datos del modelo IVE para la ciudad de Bogotá, cuyos resultados fueron obtenidos por el desarrollador del modelo (IVE Model, 2008).
- Se supone una gasolina con contenido de azufre moderado (300 ppm) y un diésel de contenido de azufre bajo (50 ppm), lo que coincide con reportes de Ecopetrol para el promedio del país.
- Se supone una velocidad promedio de 25,1 km/h.

Los resultados de las emisiones estimadas para un año se presentan en la Figura 5-152, los cálculos correspondientes se presentan en el ANEXO\_5\_1\_16\_INV\_FTES\_MOVIL.



**Figura 5-152. Emisiones estimadas para fuentes móviles.**

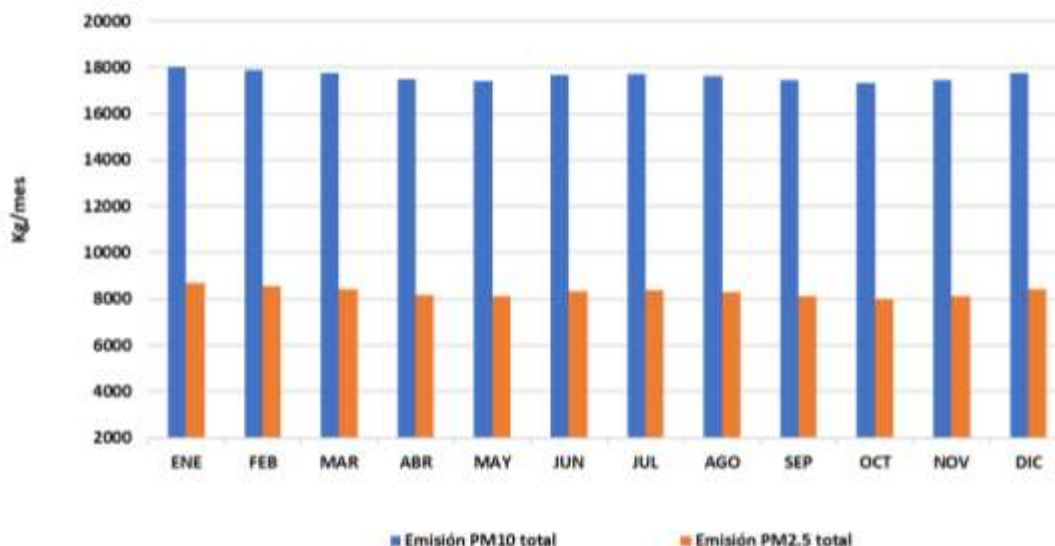
*Fuente: SAG, 2024*

En los resultados se puede evidenciar para el área de influencia del proyecto que:

El principal contaminante emitido es el CO, el cual se estima en aproximadamente 966 ton/año representando un 57.7% del total de las emisiones, seguido de este se encuentra el NO2 con 396 ton/año y un 23.6% de las emisiones, el PM10 con 211.5 ton/año y un 12% de las emisiones totales y en menor medida se encuentran el PM2.5 y el SO2.

Las mayores emisiones corresponden a material particulado (PM10 y PM2.5) lo que puede estar relacionado a la cantidad de automóviles y vehículos pesados que transitan por la zona ya que son de mayor cantidad, además del contenido de finos en las vías sin pavimentar, es importante mencionar que en el caso de los gases solo se considera el aporte generado por el exosto.

**Emisiones totales PM10 - PM2.5**



**Figura 5-153. Variabilidad mensual de las emisiones estimadas de PM10 y PM2.5.**

Fuente: SAG, 2024

En la Figura 5-153 se presenta la variabilidad mensual de las emisiones en Kg/mes para los contaminantes PM10 y PM2.5, en ella se observa el efecto de remoción de material particulado que tiene la precipitación que se registra en la zona, disminuyendo o aumentando las emisiones de forma inversamente proporcional al número de días con precipitación superior a 0,254 mm, según lo recomendado por la EPA en el AP42, y que la relación entre PM2.5/PM10 corresponde a un 98% del total de las emisiones.

5.1.11.1.3 Receptores de Interés

Para la identificación de posibles receptores sensibles dentro del área de influencia abiótica del proyecto, se usó información presente en el IGAC, se analizó la imagen satelital ImaSatDet11012022, en búsqueda de Hospitales, Centros Educativos, o sitios de concentración de personas y se tomó la información primaria tomada por el grupo socioeconómico de SAG durante sus visitas a campo; en la Tabla 5-208 se muestran las coordenadas y en la Figura 5-154 su ubicación sobre el terreno.

**Tabla 5-208. Receptores de interés.**

ID	Descripción	Coordenadas Origen Nacional	
		X	Y
RS-1	Vivero Miramontes	4700131,26	2203514,66
RS-2	Finca La Piñera	4699705,66	2203369,38
RS-3	C.E.R Alfonso Palacio Arango	4699989,68	2203194,01



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  
INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



Rev. No.: 4

2024-08-08

ID	Descripción	Coordenadas Origen Nacional	
		X	Y
RS-4	Parque infantil C.E.R Alfonso Palacio	4700006,59	2203177,07
RS-5	Cancha C.E.R Alfonso Palacio	4700011,89	2203173,63
RS-6	Estación Jericó (ferrocarril de Antioquia)	4699995,76	2203140,47
RS-7	Hacienda La Tuntuna	4701572,40	2203098,74
RS-8	Hacienda La Granja	4699754,45	2203085,11
RS-9	Estación de policía	4700286,19	2203035,48
RS-10	Tienda Donde Angela	4700265,52	2203013,94
RS-11	Tapias	4700564,62	2202999,41
RS-12	Tienda Donde El Negro	4700248,93	2202994,53
RS-13	Cabañas La Bolivariana	4700443,31	2202963,78
RS-14	Puente sobre el río Cauca Puente Iglesias	4700235,92	2202925,67
RS-15	Garrucha	4700495,35	2202910,99
RS-16	Casa Delgado JAC	4700537,88	2202910,12
RS-17	Cancha Taravera	4700009,93	2202777,64
RS-18	Estadero Las Cabañas	4700231,35	2202766,34
RS-19	Acopio Mototaxi	4700218,17	2202760,66
RS-20	Tienda	4700218,43	2202758,44
RS-21	Capilla Santa María de Piedras	4700153,26	2202750,80
RS-22	Comidas rápidas Donde Caliche	4700249,18	2202749,00
RS-23	Expendio de carnes	4700237,27	2202747,55
RS-24	Hacienda Toreadero	4700247,76	2202732,28
RS-25	Tienda Río Cauca	4700248,38	2202729,20
RS-26	Bomba Texaco	4700265,30	2202726,22
RS-27	Restaurante Puente Iglesias	4700236,57	2202724,36
RS-28	Vivienda Puente Iglesias	4700251,41	2202705,74
RS-29	Canoas	4702067,66	2202695,70
RS-30	Parcelación Botero Alta	4699589,39	2202693,07
RS-31	Hacienda La Botero	4701091,98	2202681,19
RS-32	Estadero Brisas del Cauca	4701408,59	2202528,73
RS-33	Estadero El Indian	4701451,94	2202490,80
RS-34	Vivero Uchaco	4701666,57	2202428,93
RS-35	Estadero El Zarco	4701724,40	2202407,64
RS-36	Hacienda La Soledad	4706964,89	2202363,58
RS-37	Parcelación Botero	4700228,97	2202299,64
RS-38	Casa de Oración El Nazareno	4702168,66	2202201,20
RS-39	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	4702259,33	2202183,49
RS-40	Oficina del Acueducto	4702276,51	2202168,94
RS-41	Tienda y billares El Desvare	4702342,67	2202130,78
RS-42	Planta de Acopio Naranjas La Blanquita	4702797,43	2201855,91
RS-43	Cancha Los Martinez	4702679,18	2201722,97
RS-44	Estatua Sagrado Corazón	4703104,61	2201654,49
RS-45	Hacienda La Blanquita	4702993,61	2201618,61
RS-46	Hotel Tahití	4707179,68	2201516,11
RS-46-1	Sitio aterrizaje helicóptero (Hotel Tahití)	4707027,45	2201431,23
RS-47	Finca El Tajos de Son del Cauca	4707334,17	2201495,73
RS-48	Casa Manantiales	4704065,91	2201462,00
RS-49	Hacienda Palmeras	4702410,66	2201378,98
RS-50	Venta de arepas	4703854,43	2201249,20



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO  
INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS**



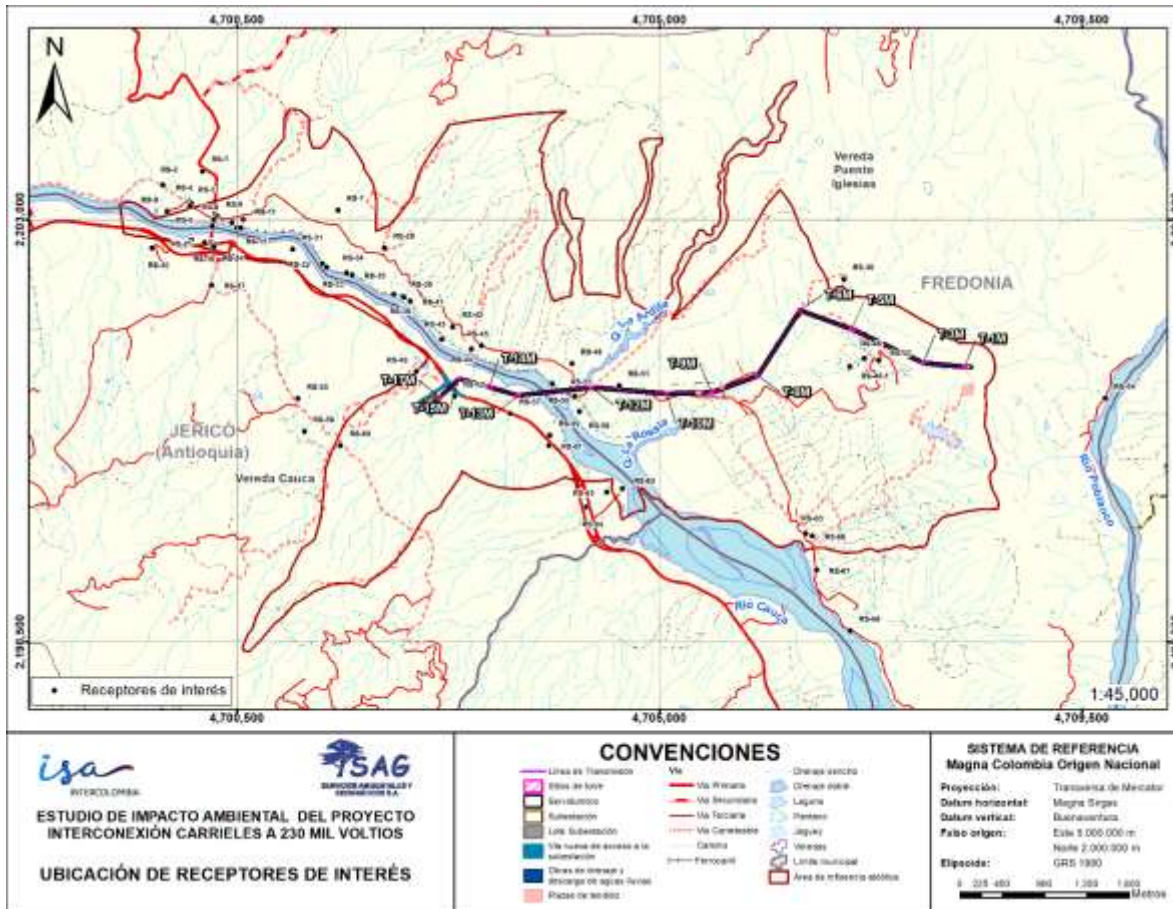
Rev. No.: 4

2024-08-08

ID	Descripción	Coordenadas Origen Nacional	
		X	Y
RS-51	Casa Granadas	4704571,76	2201228,38
RS-52	Hacienda Bariloche	4702816,67	2201112,83
RS-53	Tienda Oscar Marín	4704098,30	2201109,19
RS-54	Hacienda Rompederos	4709750,40	2201093,26
RS-55	La Ye	4701147,72	2201090,45
RS-56	Cancha La Guajira	4704147,42	2200951,28
RS-57	Peaje La Pintada	4703409,11	2200930,30
RS-58	San Antonio	4701216,95	2200739,57
RS-59	Báscula	4703832,07	2200698,97
RS-60	Hacienda San Antonio	4701600,72	2200590,30
RS-61	Báscula	4703823,21	2200589,45
RS-62	La Guamo	4704602,38	2200130,05
RS-63	Hacienda El Guamo	4704438,53	2200093,54
RS-64	CCO La Pintada	4704216,68	2199932,19
RS-65	Planta de Beneficio Agrotúnez S.A.	4706558,93	2199651,18
RS-66	Hacienda Túnez	4706629,19	2199627,62
RS-67	Cancha Trabajadores Túnez	4706676,13	2199264,76
RS-68	Sevilla	4707032,63	2198616,58

Fuente: SAG, 2024





**Figura 5-154. Receptores de interés.**  
Fuente: SAG, 2024

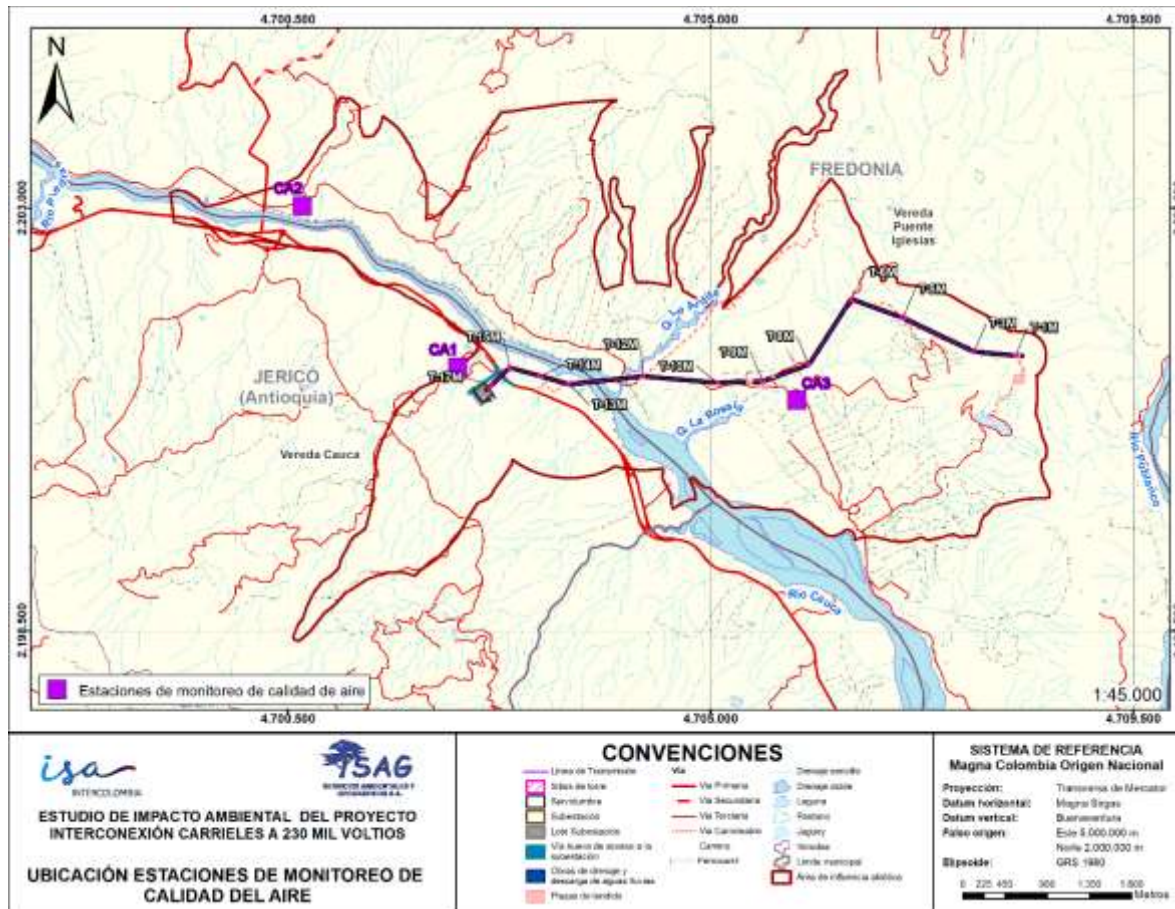
### 5.1.11.2 Calidad del aire (Información de Inmisión)

A continuación, en esta sección se presenta la información correspondiente al monitoreo de calidad de aire realizado para establecer la línea base del proyecto. La campaña se enfocó en medir la calidad del aire actual lo más cerca posible de la zona de futuras obras donde se evidenciarán con mayor intensidad los impactos en la calidad del medio.

Siguiendo lo establecido en el Protocolo de Calidad del Aire, se efectuó el monitoreo de calidad del aire, entre el 19 de mayo al 22 de junio de 2022; las mediciones de la calidad del aire fueron desarrolladas por el laboratorio SIAM Ingeniería S.A. Los informes correspondientes a las campañas de monitoreo previamente señaladas se adjuntan en el ANEXO\_5\_1\_15\_MONITOREOS, donde se presentan los contenidos requeridos por el Protocolo de Calidad del Aire, los métodos, el registro fotográfico, los certificados de

calibración y los reportes que garantizan que los monitoreos se realizaron siguiendo los requerimientos del protocolo de calidad del aire aplicable.

En la Figura 5-155 se observa la localización de las estaciones de monitoreo en el área de influencia.



**Figura 5-155. Ubicación estaciones de monitoreo de calidad del aire.**

Fuente: SAG, 2024

Las mediciones de calidad del aire se realizaron en el sitio y coordenadas relacionados en la Tabla 5-209, las cuales se encuentran en el sistema WGS 84 y en el sistema MAGNA Colombia/Origen Nacional.

**Tabla 5-209. Fecha y Hora de monitoreo.**

Estación	Fecha		Coordenadas				msnm
			Coordenadas Geográficas (GCS_WGS_1984)		Magna Sirgas Origen Nacional		
	Inicial	Final	Oeste	Norte	Este	Norte	
CA1	2022/05/19	2022/06/22	75°41'20.80"	5°48'55.62"	4.702.310	2.201.305	613
CA2	2022/05/19	2022/06/22	75°42'14.75"	5°49'51.31"	4.700.658	2.203.024	597
CA3	2022/05/19	2022/06/22	75°39'23.42"	5°48'44.91"	4.705.921	2.200.958	590

*Fuente: modificado de SIAM, 2023*

Con el propósito de tener una evaluación meteorológica del área de influencia que conforman el proyecto, durante el tiempo de realización del monitoreo de calidad del aire se tomaron mediciones meteorológicas mediante el uso de equipo portátil instalado en la estación 3, registrándose datos con intervalos de 30 minutos en los parámetros de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad de viento.

**Tabla 5-210. Resumen variables meteorológicas promedio diario.**

Fecha	Temperatura promedio (°C)	Presión barométrica promedio (mm Hg)	Humedad promedio (%)	WS promedio (m/s)	Precipitación Acumulada (mm H <sub>2</sub> O)
2022-05-19	25,2	713,14	86,79	0,27	10,67
2022-05-20	24,9	714,01	84,46	0,17	14,47
2022-05-21	24,7	714,08	87,48	0,19	1,01
2022-05-22	24,8	712,99	85,09	0,23	0,51
2022-05-23	25,5	712,66	79,06	0,29	0,00
2022-05-24	26,2	710,91	80,64	0,17	0,00
2022-05-25	26,1	711,11	80,29	0,36	1,52
2022-05-26	25,2	712,36	84,63	0,26	6,60
2022-05-27	26,0	711,38	83,83	0,26	0,00
2022-05-28	26,3	710,72	79,06	0,36	10,41
2022-05-29	24,6	710,90	85,21	0,36	0,00
2022-05-30	24,9	711,43	87,11	0,17	35,80
2022-05-31	24,4	712,00	87,67	0,13	2,54
2022-06-01	25,7	711,50	82,37	0,18	8,89
2022-06-02	24,5	712,72	84,08	0,16	14,71
2022-06-03	25,3	712,90	82,16	0,10	0,25
2022-06-04	24,4	712,53	85,92	0,23	0,00
2022-06-05	25,2	712,01	82,83	0,30	1,01
2022-06-06	24,3	712,03	85,94	0,20	36,05
2022-06-07	22,6	713,73	90,63	0,06	36,31
2022-06-08	24,8	712,71	81,00	0,21	17,02
2022-06-09	24,6	712,61	86,13	0,23	14,48
2022-06-10	25,7	711,38	81,75	0,20	8,63
2022-06-11	24,4	712,48	86,05	0,11	19,05
2022-06-12	25,0	712,55	84,77	0,30	21,32

Fecha	Temperatura promedio (°C)	Presión barométrica promedio (mm Hg)	Humedad promedio (%)	WS promedio (m/s)	Precipitación Acumulada (mm H <sub>2</sub> O)
2022-06-13	25,2	711,97	83,76	0,32	4,82
2022-06-14	25,2	712,14	82,35	0,37	1,77
2022-06-15	25,1	712,18	83,31	0,25	12,43
2022-06-16	25,8	712,15	82,46	0,30	1,52
2022-06-17	23,5	712,65	89,92	0,14	6,10
2022-06-18	25,0	712,34	83,96	0,38	8,12
2022-06-19	25,1	712,71	81,79	0,19	2,79
2022-06-20	24,4	713,16	85,02	0,20	7,85
2022-06-21	24,2	712,54	88,48	0,18	3,54
2022-06-22	24,6	712,62	92,07	0,21	0,25
<b>Promedio</b>	<b>25,2</b>	<b>712,32</b>	<b>84,52</b>	<b>0,23</b>	
<b>Acumulado</b>					<b>108,39</b>

Fuente: SIAM, 2023

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana que es creada por el movimiento horizontal (viento) y vertical de la atmósfera. La velocidad del viento afecta en gran medida la concentración de contaminantes en un área, mientras mayor sea la velocidad del viento mayor será la dilución y dispersión de contaminantes. La Figura 5-156 muestra el comportamiento de la velocidad del viento durante la campaña de monitoreo, en ella se observa que los registros estuvieron en el orden de los 0,3 a 2,2 m/s.

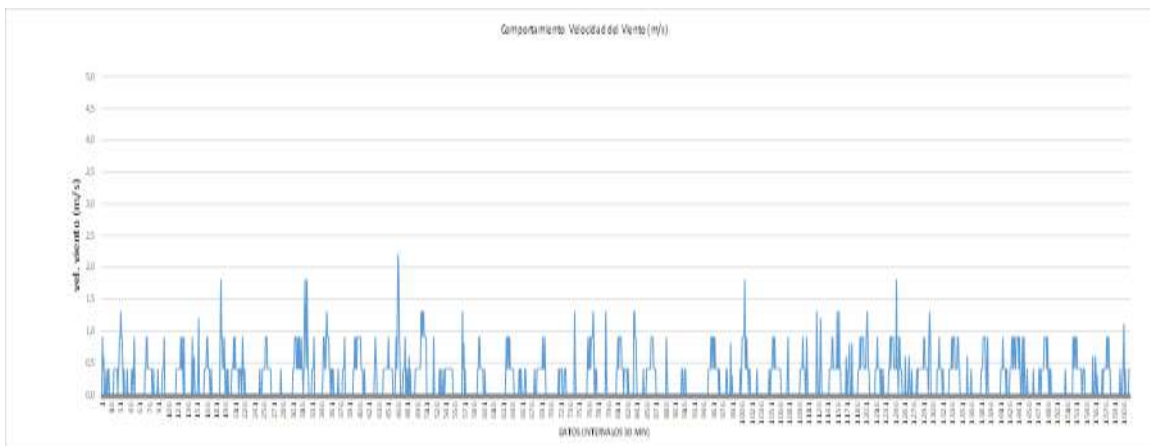


Figura 5-156. Velocidad del viento durante el tiempo de muestreo.

Fuente: SIAM, 2023

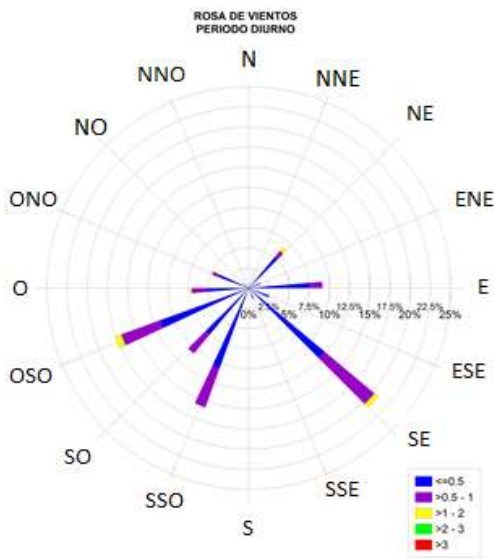
La mayor velocidad del viento registrada fue de 2,2 m/s, el día 28 de mayo de 2022 a las 14:00 horas, la velocidad mínima 0,3m/s y la velocidad promedio estuvo por el orden de 0,23m/s que según la escala Beaufort (Ver Tabla 5-211) se clasifica en F1 Ventolina.

**Tabla 5-211. Escala de Beaufort.**

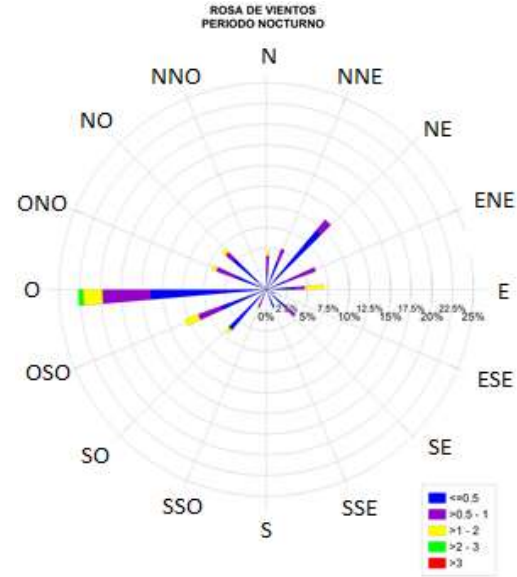
Definición	m/s	Condición en tierra
• F0-Calma	0-0,2	El humo sube verticalmente
• F1 - Ventolina	0,3-1,5	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas
• F2 - Flojito (Brisa muy débil)	1,6-3,3	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas
• F3 - Flojo (Brisa débil)	3,4-5,4	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas
• F4 - Bonancible (Brisa moderada)	5,5 – 7,9	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
• F5 - Fresquito (Brisa fresca)	8,0 – 10,7	Pequeños movimientos de los árboles, superficies de los lagos ondulados.

*Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM*

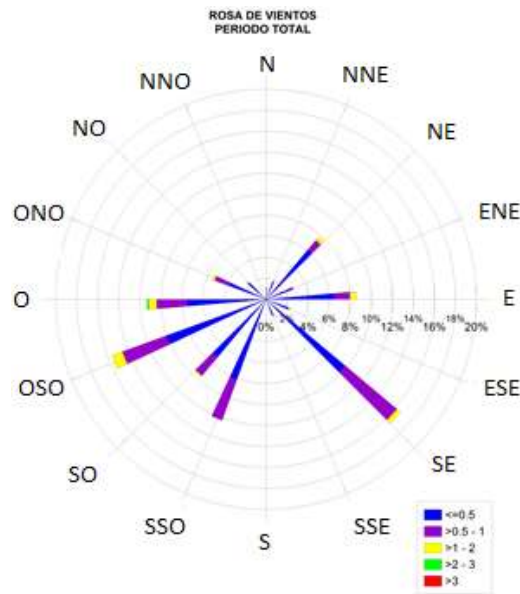
En la Figura 5-157, se presenta la rosa de vientos, en la rosa de vientos diurna se resalta que los vientos alcanzaron velocidades hasta los 2,2m/s, los cuales predominaron hacia el Sureste (SE) con una frecuencia mayor al 20%. En la rosa de vientos nocturna, se observa que predomina la dirección del viento en sentido Oeste con frecuencia del 22,5%, las mayores velocidades se encuentran en el rango de 1,8m/s y se evidencian ráfagas significativas en sentido Oeste y otra parte con menor intensidad hacia el este. En la rosa de vientos total, se confirma la predominancia del viento observada en la rosa diurna, es decir en sentido Sureste (SE), se observa en su mayoría velocidades inferiores a los 2m/s.



Rosa de viento diurna



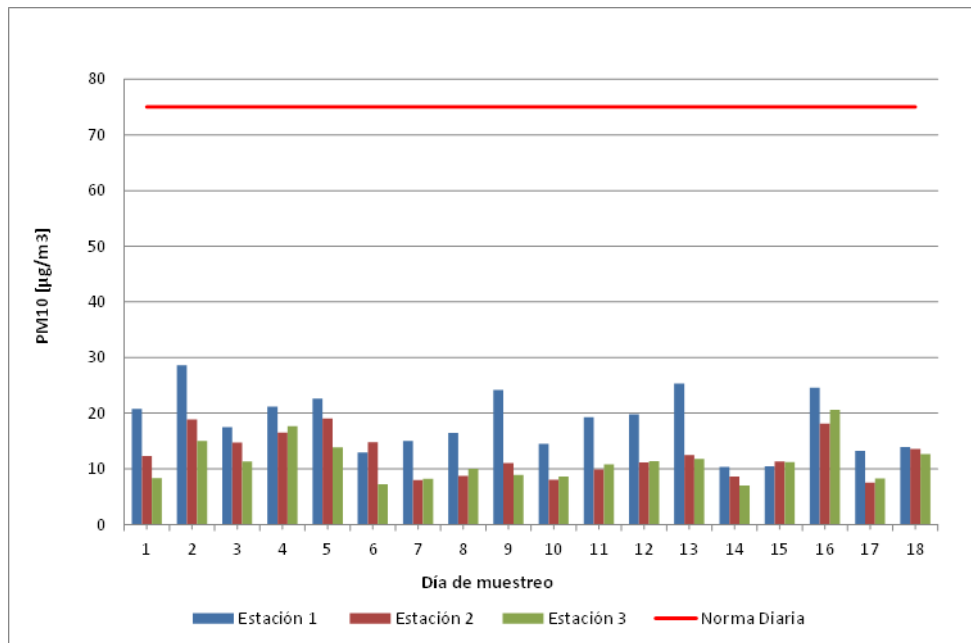
Rosa de viento nocturna



Rosa de viento total  
**Figura 5-157. Rosa de vientos.**

Fuente: SIAM, 2023

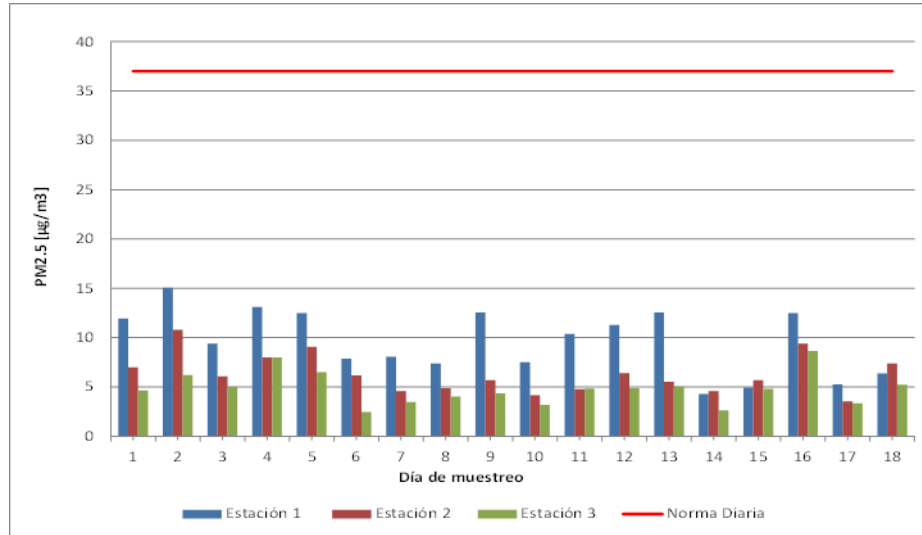
En la Figura 5-158 se presentan los datos diarios de PM10 obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para un tiempo de exposición diario (75 µg/m<sup>3</sup>). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo, se evidencia que no se presentaron valores superiores a la norma de 24 horas.



**Figura 5-158. Datos de calidad del aire para PM10.**

*Fuente: SIAM, 2023*

En la Figura 5-159 se presentan los datos individuales por día de PM2.5 obtenidos en la estación y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (37 µg/m<sup>3</sup>). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de PM2.5, se evidencian valores inferiores a la norma de 24 horas.



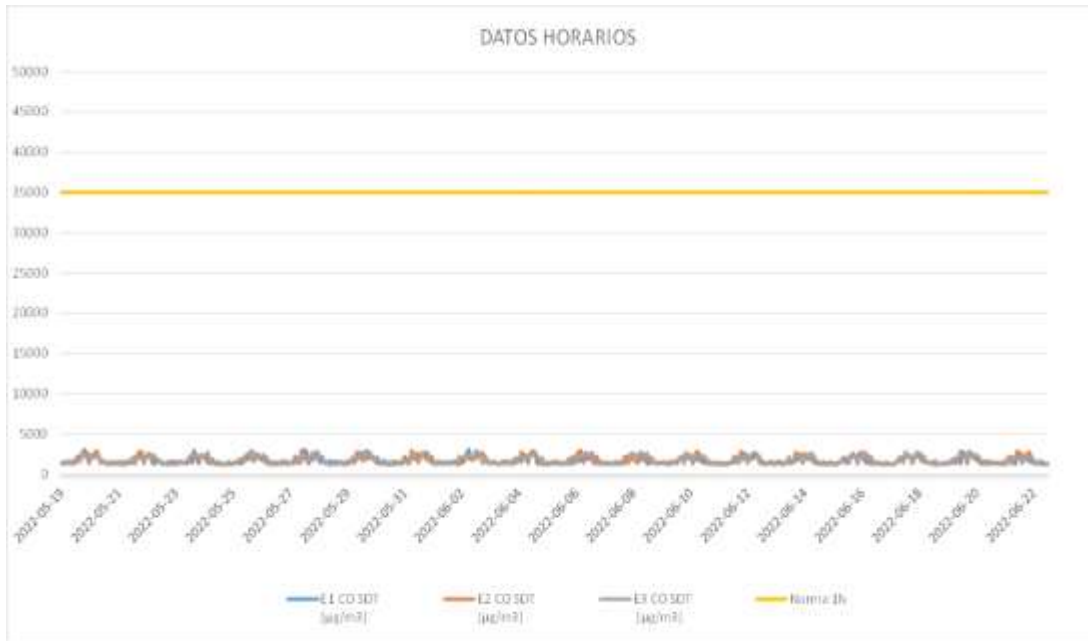
**Figura 5-159. Datos de calidad del aire para PM2.5.**

*Fuente: SIAM, 2023*

Se establece que todas las horas cumplen con el límite máximo permisible de  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el registro extendido de las concentraciones horarias de  $\text{NO}_2$  obtenidas en cada una de las estaciones.

De acuerdo con la información obtenida de las estaciones para  $\text{SO}_2$ , se presentaron valores menores al límite de cuantificación del método (LCM), el cual es de  $2,62\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ . En general los valores obtenidos de  $\text{SO}_2$  en las tres estaciones de monitoreo se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método de laboratorio y por ende son inferiores al estándar máximo permisible dado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición de 24 horas. Se podría asegurar que en lo que refiere a este contaminante no se sobrepasará en ninguna época del año el límite fijado por la norma.

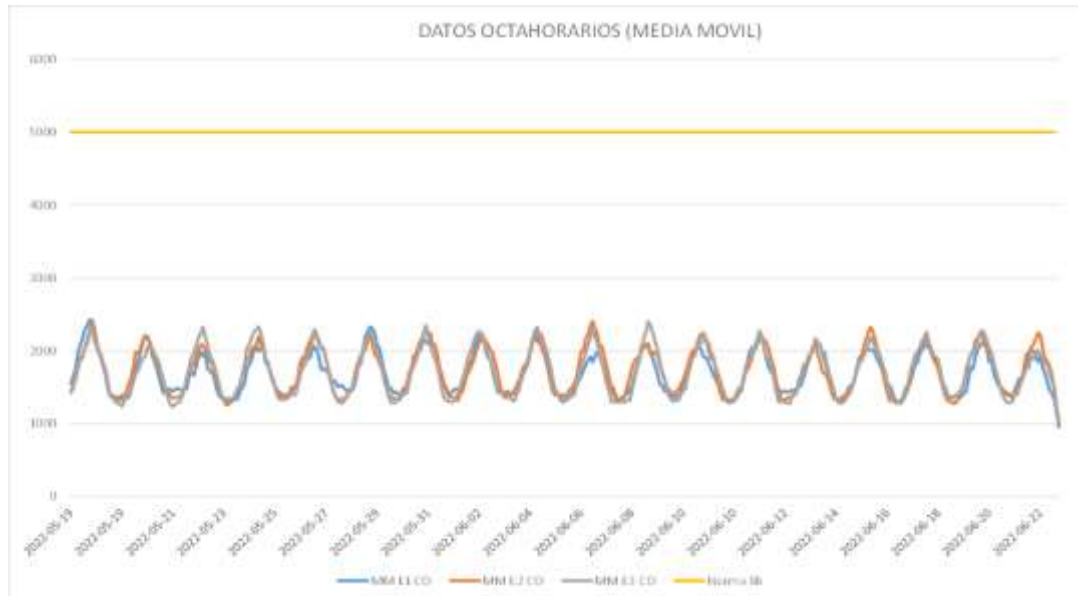




**Figura 5-160. Registro horario CO.**

Fuente: SIAM, 2023

En la Figura 5-160, se presentan los datos individuales horarios de CO y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254 de 2017 del MAVDT, para tiempos de exposición horaria ( $35.000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En general, todos los valores horarios obtenidos de CO se encuentran inferiores al límite máximo estipulado por la normatividad ambiental para el tiempo de exposición aplicado, dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 2 de junio de 2022 con una concentración de  $3098,20\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación 1, lo que permite inferir que las emisiones producidas por el paso de vehículos y actividades propias de la zona no representan riesgo a la salud de ninguno de los expuestos en lo que a este contaminante respecta.



**Figura 5-161. Registro Octohorario CO.**

*Fuente: SIAM, 2023*

En la Figura 5-161, se presentan los datos octahorarios de CO y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, resolución 2254 de 2017 del MAVDT para el tiempo de exposición evaluado ( $5.000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); estos valores se encuentran en concentraciones inferiores al límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición Octohoraria, dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada se presentó el día 19 de mayo de 2022 con una concentración de  $1283,21\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación 1.

Los monitoreos realizados de Ozono ( $\text{O}_3$ ) en cada uno de los puntos localizados en el área de influencia, presentaron concentraciones que si se comparan con los límites permisibles establecidos por la Resolución 2254 de 2017 por el MADS para un tiempo de exposición de ocho horas ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se puede inferir que las actividades que se desarrollan en cada una de las áreas cercanas a los puntos de monitoreo no afectan negativamente en la calidad del aire en lo que a este contaminante respecta.

En la Tabla 5-212 se presentan los valores de las concentraciones máximas de los contaminantes evaluados a condiciones de referencia durante los días del 19 de mayo al 22 de junio de 2022, comparados con el valor máximo permisible en la norma actual vigente para calidad del aire.

**Tabla 5-212. Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición.**

Proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios	Concentración máxima						
	<i>PM<sub>10</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>PM<sub>2,5</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>SO<sub>2</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>CO</i> (1h) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>CO</i> (8h) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>NO<sub>2</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>O<sub>3</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
CA-1: Hacienda Palmeras	28,59	15,04	<LCM	3098,20	2426,07	46,90	43,49
CA-2: Finca Veracruz	19,05	10,81	<LCM	2958,53	2409,49	48,26	47,52
CA-3: Agrotunez	20,60	8,64	<LCM	2984,48	2405,57	50,62	49,63
Norma Diaria (Res-MADS2254/2017)	75	37	50	-	-	-	-
Norma Horaria (Res-MADS-2254/2017)	-	-	-	350000	-	200	-
Norma Octohoraria (Res-MADS-2254/2017)	-	-	-	-	5000	-	100

Fuente: SIAM, 2023

El índice de calidad de aire (ICA) se presenta en el anexo ANEXO\_5\_1\_15\_MONITOREOS, subcarpeta CA.

### 5.1.11.3 Meteorología

Las condiciones meteorológicas del área de influencia se describen a través de los registros históricos a nivel diario de las estaciones del IDEAM: Túnez Hacienda (CO) y La Granja Nacional (CP), las cuales se localizan aledañas al área de influencia abiótica, siendo las más cercanas la estación meteorológica Túnez Hacienda (CO).

#### 5.1.11.3.1 Temperatura superficial

A continuación, se presenta la temperatura superficial promedio mensual y anual, temperatura máxima y mínimas diarias registradas para el área de influencia.

El comportamiento de la temperatura superficial en el área se analizó inicialmente con base en lo reportado por la estación climatológica La Granja Nacional (26175030) localizada en el municipio de Támesis para el periodo 2004 a 2019; se puede observar en la Figura 5-162 y la Tabla 5-213 que la temperatura en la estación La Granja Nacional (26175030) varía entre 17°C y 29°C, con una temperatura media de 22°C. El mes que reporta mayor temperatura es marzo, y el de menor temperatura es enero.

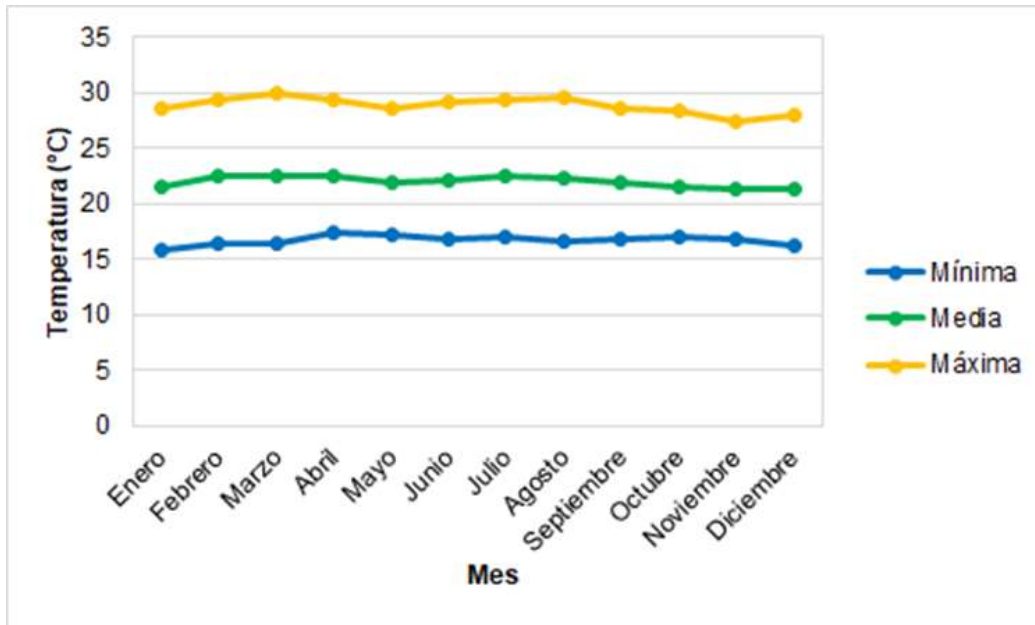


Figura 5-162. Temperatura media, mínima y máxima mensual multianual - Estación La Granja Nacional (26175030).

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022

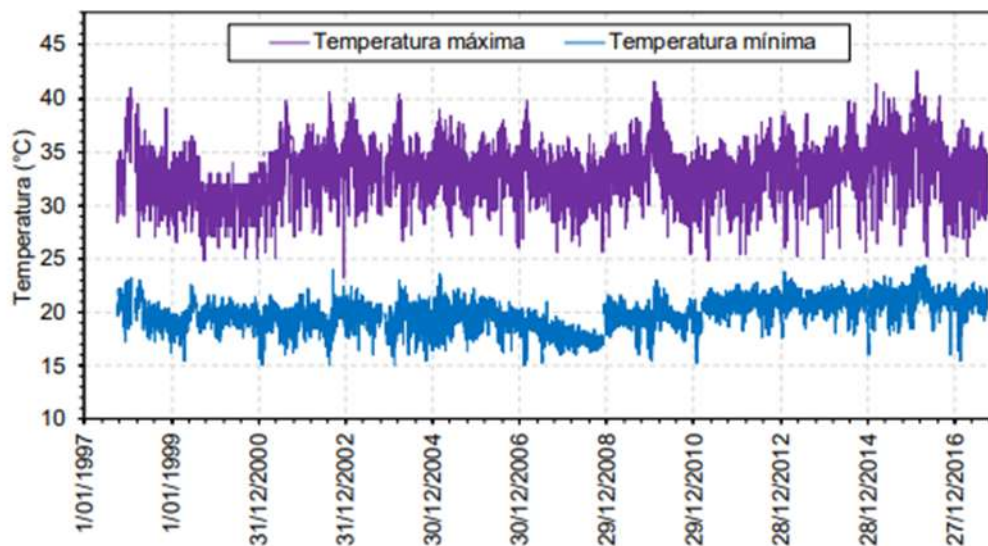
Tabla 5-213. Temperatura media, mínima y máxima mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030).

Mes	Temperatura (°C)		
	Mínima	Media	Máxima
Enero	15,80	21,6	28,60
Febrero	16,30	22,06	29,30
Marzo	16,50	22,50	29,90
Abril	17,40	22,60	29,30
Mayo	17,30	21,90	28,50
Junio	16,90	22,20	29,20
Julio	17,10	22,50	29,50
Agosto	16,70	22,20	29,60
Septiembre	16,90	22,00	28,60
Octubre	17,00	21,60	28,30
Noviembre	16,80	21,40	27,50
Diciembre	16,30	21,30	28,00

Mes	Temperatura (°C)		
	Mínima	Media	Máxima
<b>Media anual (°C)</b>	<b>16,70</b>	<b>22,00</b>	<b>28,90</b>

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022.

Adicionalmente, la temperatura máxima y mínima diarias para el área de influencia según los registros de la estación meteorológica Túnez Hacienda, se presentan en la Figura 5-163, en esta se observa el comportamiento de la temperatura máxima para diferentes años con registros mayores a 40°C y para los mínimos con magnitudes alrededor de los 15°C.



**Figura 5-163. Temperatura máxima y mínima diaria (C°) – Estación Túnez Hda.**

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022.

#### 5.1.11.3.2 Presión atmosférica

En este apartado, se presenta la presión atmosférica promedio mensual. En la Tabla 5-215 se procesan los registros de la presión atmosférica en la estación meteorológica Túnez Hacienda.

**Tabla 5-214. Presión atmosférica en los sitios donde se encuentran ubicadas las estaciones Túnez Hda.**

Nombre estación	Código	Tipo	Elevación (msnm)	Presión (mBar)
Tunez Hacienda	2617504	CO	530	954,3

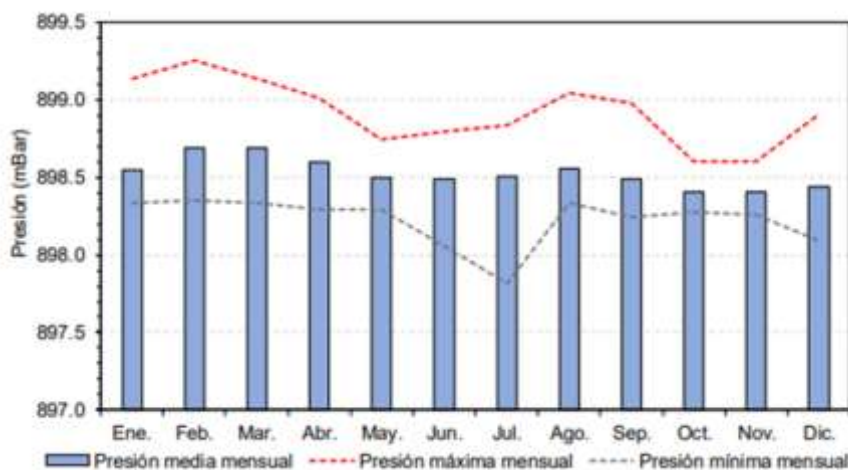
Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022

En la Tabla 5-215 y la Figura 5-164 se presentan los valores medios mensuales de la estación Túnez Hacienda, en esta se puede evidenciar que la presión mínima se presentó en el mes de junio y diciembre, aunque el comportamiento fue muy estable para todos los meses, esto quiere decir, que la magnitud de esta variable en la zona es relativamente constante.

**Tabla 5-215. Presión media mensual (mBar) – Estación Túnez Hacienda.**

Presión Atmosférica	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Medios	898,5	898,7	898,7	898,6	898,5	898,5	898,5	898,6	898,5	898,4	898,4	898,4
Máximos	899,1	899,3	899,1	899,0	898,7	898,8	898,8	899,0	899,0	898,6	898,6	898,9
Mínimos	898,3	898,4	898,3	898,3	898,3	898,1	897,8	898,3	898,2	898,3	898,3	898,1

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*



**Figura 5-164. Presión media mensual (mBar) – Estación Túnez Hda.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

### 5.1.11.3.3 Precipitación

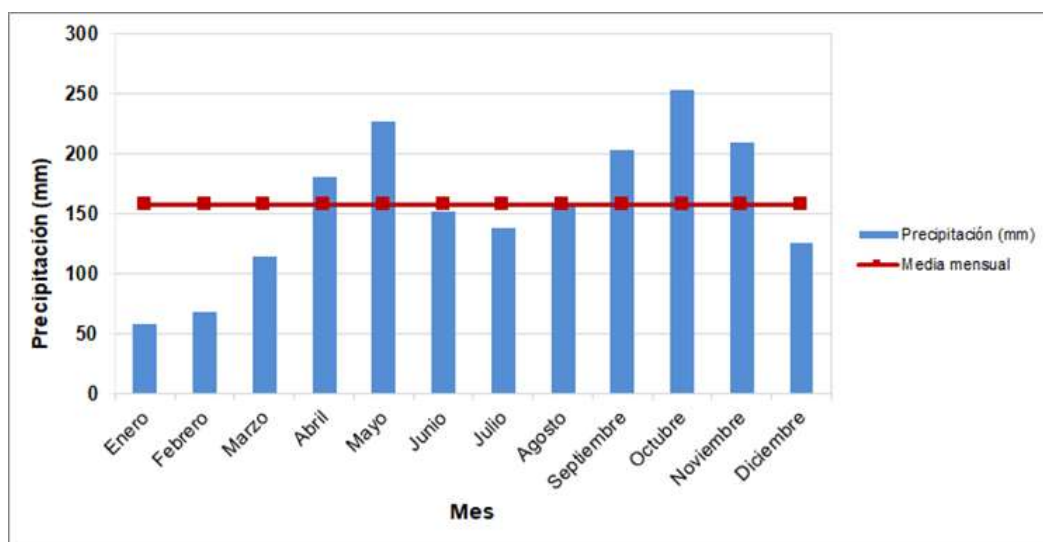
El comportamiento de la precipitación se analizó a partir de la información disponible de las 16 estaciones más cercanas al área de influencia: Abejorral (26180160), Betania-Las Guacas (26190090), Bolombolo (26200130), Campamento (26190120), Caramanta (26170180), Dique El (26170190), Fredonia (26200150), Ita Andes (26195020), Jardín El (26195030), Montebello (26180200), La Granja Nacional (26175030), Otramina (26200120), Peñalisa (26210110), Pueblorrico (26170150), Salada La (27015260), Túnez Hacienda (26175040).

Como se presenta en la Tabla 5-216, la Figura 5-165 y la Figura 5-166, la precipitación media mensual multianual en el área de influencia presenta un comportamiento bimodal a lo largo del año, con valores máximos en los meses de mayo, septiembre, octubre y noviembre y valores mínimos en los meses de enero y febrero.

**Tabla 5-216. Precipitación media mensual multianual.**

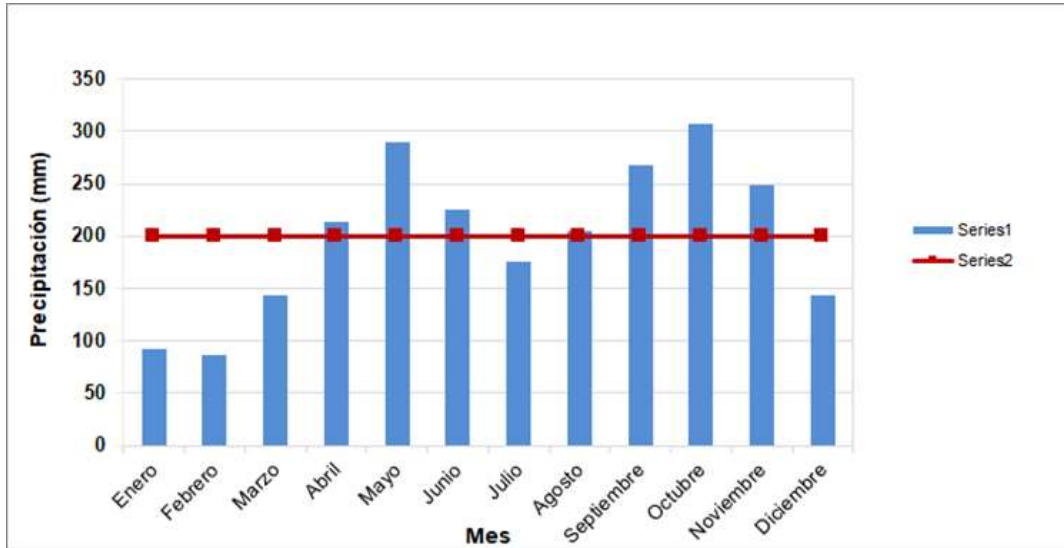
Mes	Precipitación (mm)	
	Túnez Hacienda (26175040)	Dique El (26170190)
Enero	57,70	91,50
Febrero	68,00	86,30
Marzo	114,40	143,60
Abril	181,50	213,30
Mayo	227,10	289,00
Junio	151,90	224,90
Julio	138,60	175,00
Agosto	155,70	205,30
Septiembre	203,30	267,80
Octubre	253,50	307,10
Noviembre	210,20	248,20
Diciembre	125,80	143,30
<b>Media mensual (mm)</b>	<b>157,30</b>	<b>199,60</b>
<b>Media anual (mm)</b>	<b>1.887,70</b>	<b>2.395,20</b>

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022



**Figura 5-165. Precipitación media mensual multianual - E. estación Túnez Hacienda (26175040).**

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022



**Figura 5-166. Precipitación media mensual multianual – Estación Dique El (26170190).**

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022

- Humedad relativa

En este numeral se presenta la humedad relativa media, máxima y mínima mensual para el área de influencia.

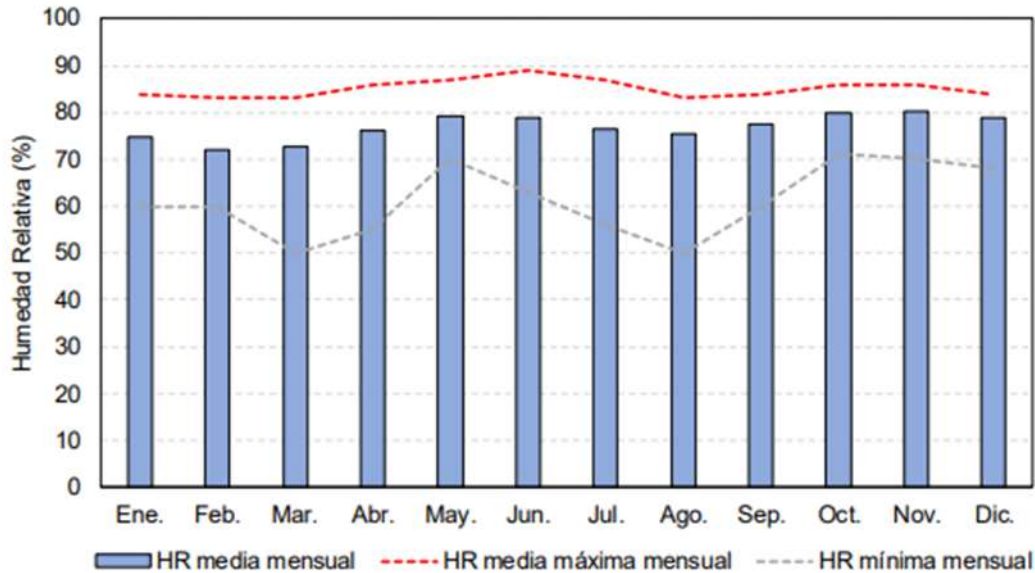
De acuerdo con los registros de la estación Túnez Hda, en la Tabla 5-217 y la Figura 5-167 se presenta la humedad relativa media mensual, evidenciándose un comportamiento bimodal, que en el mes de junio registra el mayor valor de máximos, mínimos y medios llegando a valores cercanos al 89% y los meses que presentan magnitudes mínimas son los meses marzo y agosto con valores cercanos a 50%. Como es de esperarse la humedad relativa presenta un comportamiento inverso al presentado en la temperatura y la radiación solar. (Figura 5-162 y Figura 5-178)

**Tabla 5-217. Humedad relativa media mensual – Estación Túnez Hda.**

Humedad Relativa	Ene	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Medios	74,7	72,0	72,7	76,1	79,4	79,0	76,4	75,3	77,5	79,9	80,1	79,0
Máximos	84,0	83,0	83,0	86,0	87,0	89,0	87,0	83,0	84,0	86,0	86,0	84,0
Mínimos	60,0	60,0	50,0	55,0	70,0	63,0	56,0	50,0	60,0	71,0	70,0	68,0

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022





**Figura 5-167. Humedad Relativa media mensual – Estación Túnez Hacienda.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

En complemento a lo anterior, el comportamiento de la humedad relativa en el área de influencia también se analizó a partir de la información disponible en la estación climatológica La Granja Nacional (26175030) localizada en el municipio de Támesis, la cual cuenta con registros entre 2004 y 2019.

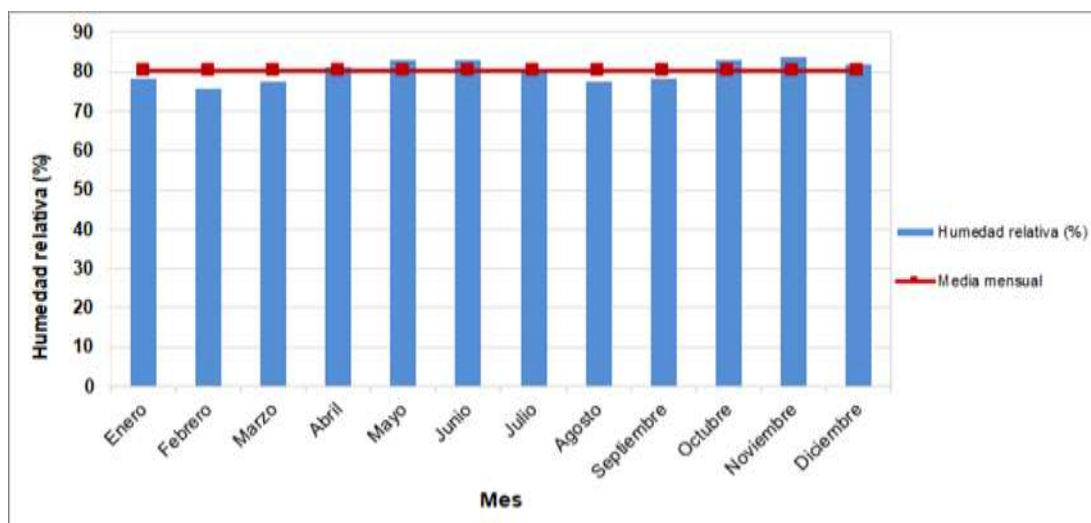
Como se puede observar en la Tabla 5-218 y en la Figura 5-168, en consistencia con los registros de la estación Hacienda Túnez, la humedad relativa presenta un comportamiento bimodal a lo largo del año, con valores máximos en los meses de junio, octubre y noviembre y valor mínimo en febrero, marzo y agosto. El promedio anual de la humedad relativa en la estación La Granja Nacional (26175030) es de 80%.

**Tabla 5-218. Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030).**

Mes	Humedad relativa (%)
Enero	78,3
Febrero	75,7
Marzo	77,6
Abril	81,2
Mayo	82,9
Junio	83,1

Mes	Humedad relativa (%)
Julio	79,6
Agosto	77,4
Septiembre	78,4
Octubre	83,1
Noviembre	83,8
Diciembre	82,0
<b>Media anual (%)</b>	<b>80,3</b>

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*



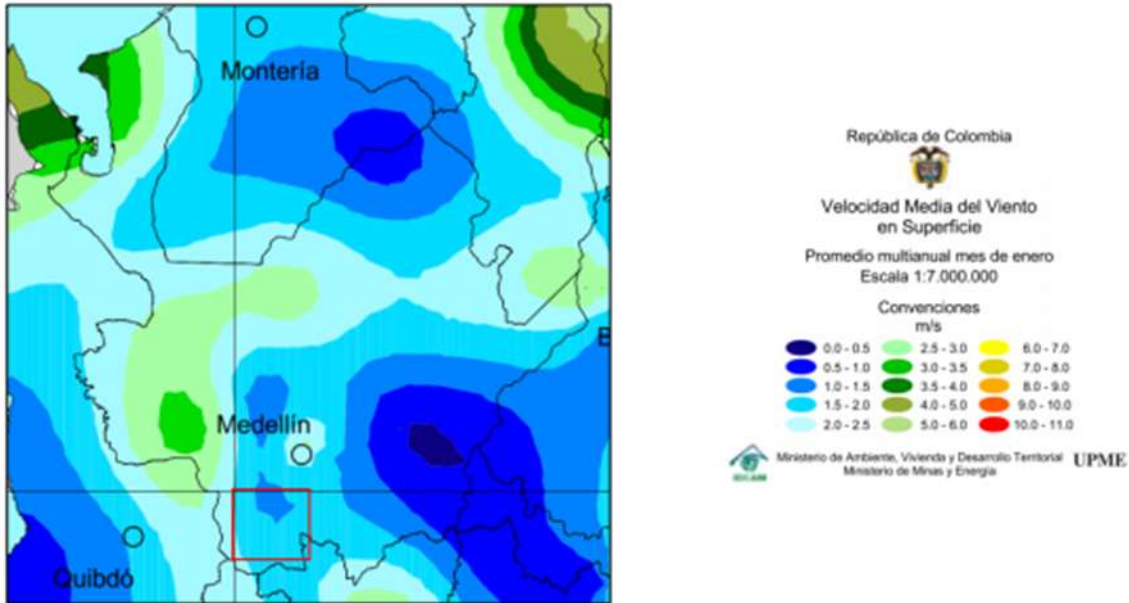
**Figura 5-168. Humedad relativa mensual multianual para la estación La Granja Nacional (26175030).**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

#### 5.1.11.3.4 Dirección y velocidad del viento

Para el análisis del comportamiento del viento se utilizó información del atlas de viento y energía eólica del IDEAM; la rosa de vientos se determinó a partir de la información extraída de la estación Túnez Hda y del análisis del EIA.

En el área de influencia, los vientos en superficie esperados oscilan entre los 1,0 y 2,0 m/s según el mapa de velocidad media del viento en superficie del Atlas de viento y energía Eólica de Colombia (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2006) ver Figura 5-169.

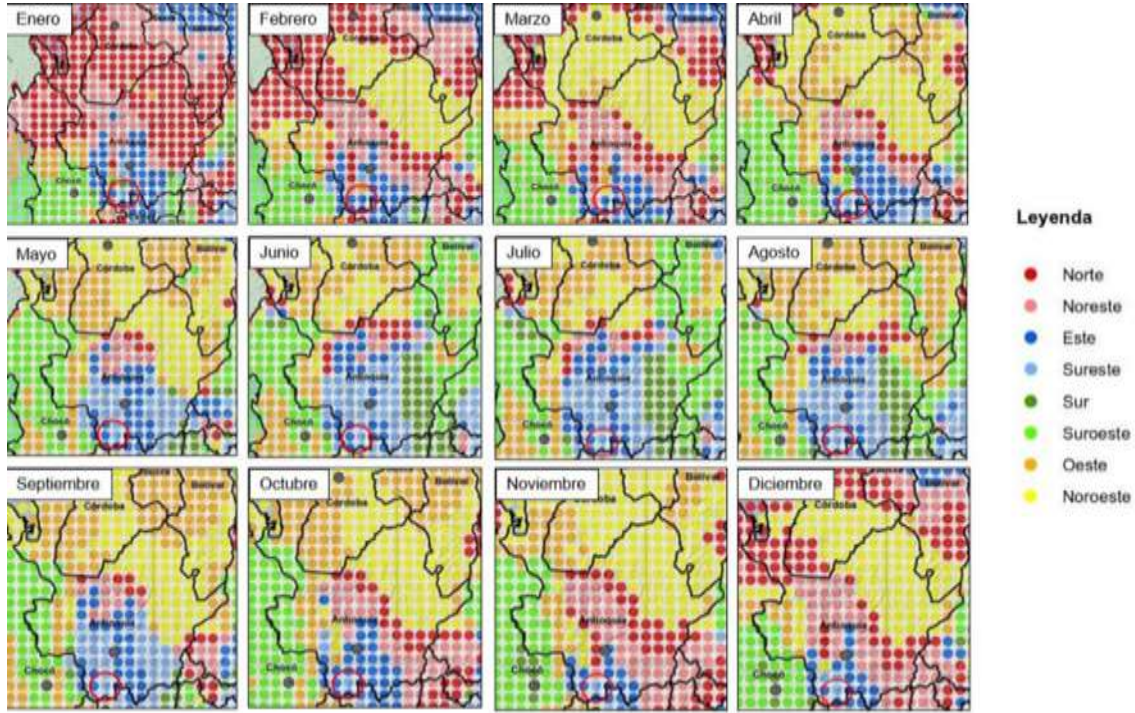


**Figura 5-169. Velocidad media del viento.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2015*

#### 5.1.11.3.5 Tendencias de vientos anuales

Los vientos presentan variaciones a lo largo del año como se puede ver en la Figura 5-170 de ciclo anual de la dirección de los vientos, en esta se puede apreciar que en la zona del proyecto predominan los vientos del este y sureste, es de tener en cuenta que el ciclo anual de la dirección de los vientos, es una representación de meteorología regional, si bien es indicativa de un régimen promedio de un área.

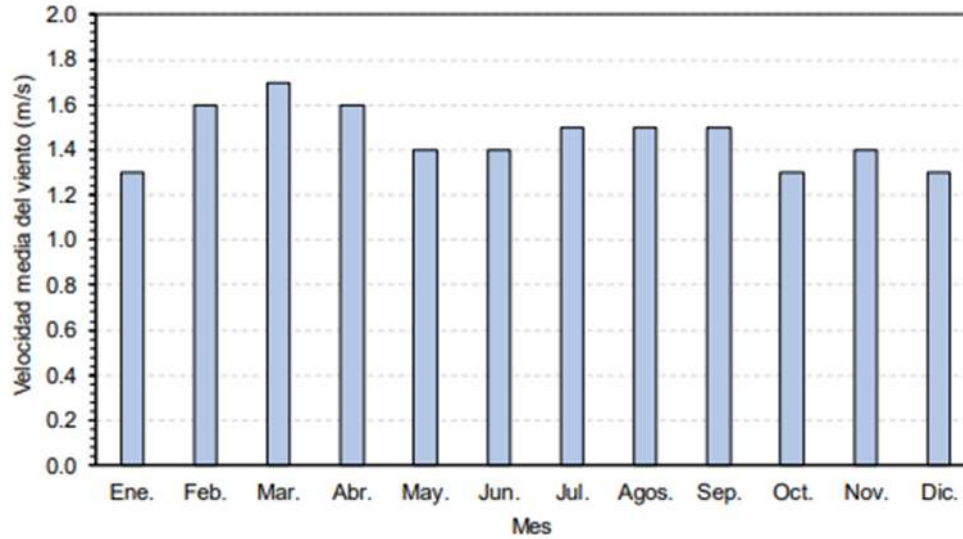


**Figura 5-170. Ciclo anual de la dirección de los vientos.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2015*

La estación Hacienda Túnez, cuenta con registros entre 1975 y 1990 de velocidad y dirección del viento, presentando un 46% de datos faltantes.

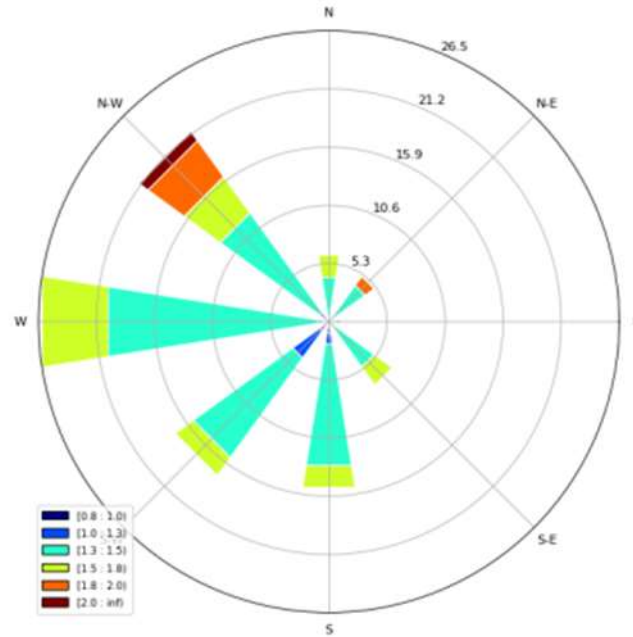
La variación mensual de los vientos se muestra en la Figura 5-171 en esta se observa que el mes de marzo presentó valores máximos, el cual tiene una magnitud de 1,7 m/s y los meses con valores mínimos mensuales de la velocidad del viento corresponden a enero, octubre y diciembre con un valor aproximado de 1,3 m/s.



**Figura 5-171. Variación mensual de la velocidad de los vientos en la estación Túnez Hda.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

En la Figura 5-172 se muestra la rosa de vientos anual a partir de los datos de la estación Hda Túnez, en esta se observa que los vientos alcanzan velocidades mayores a los 1,3 m/s, las cuales provienen predominantemente desde el noroeste con una frecuencia cercana al 21,2%, los vientos de menor magnitud provienen desde oeste con velocidades entre 1,3 y 1,8 m/s.



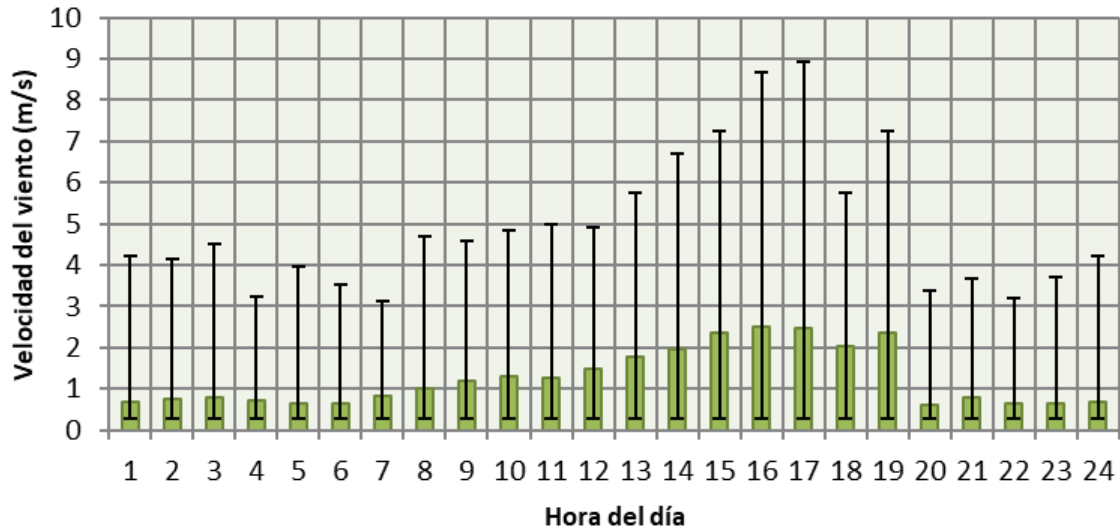
**Figura 5-172. Rosa de vientos anuales (m/s) estación Tunez Hda.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

#### 5.1.11.3.5.1 Rosas de viento diurna y nocturna

Para este análisis se tomaron los datos de meteorología del modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para el año 2022 ya que no existen datos horarios en la estación Hacienda Túnez.

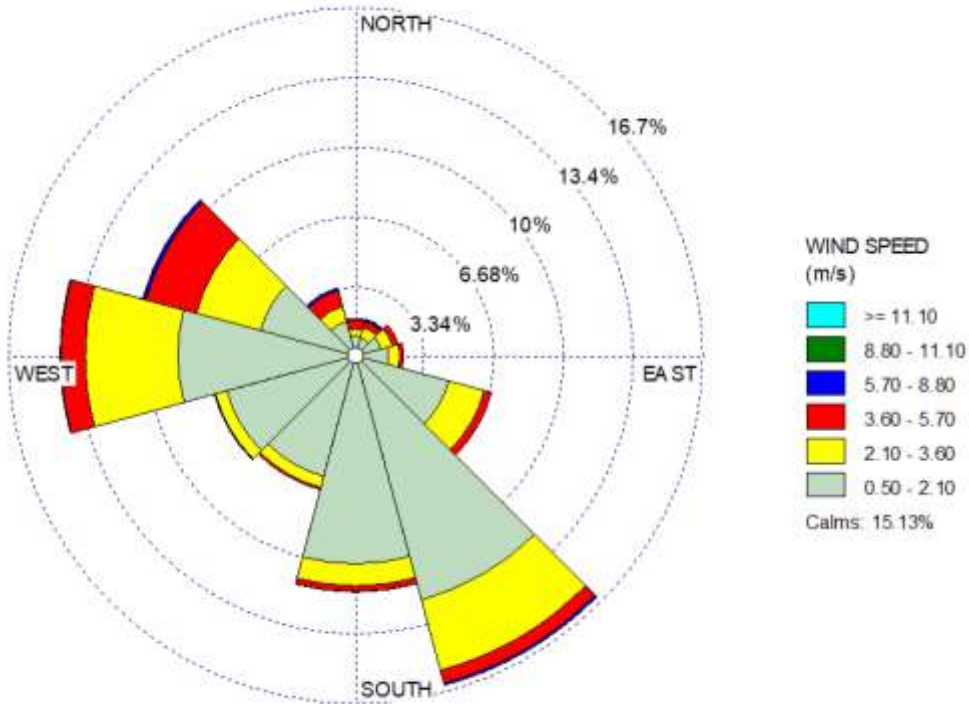
En la **Figura 5-173** se presentan los datos de velocidad del viento en resolución horaria desde este set de datos. Aquí se evidencia que a las 16:00 se presenta el valor promedio más alto de velocidad de viento al día con 2.49 m/s mientras el máximo se da a las 17:00 con valores de hasta 6.20 m/s.



**Figura 5-173. Velocidad del viento horaria.**

*Fuente: SAG, 2024*

En la rosa de los vientos diurna (ver Figura 5-174) se puede observar que los vientos predominan en las direcciones sureste y oeste con vientos desde 0,50 m/s hasta los 5,0 m/s con frecuencias superiores al 13,4 %.

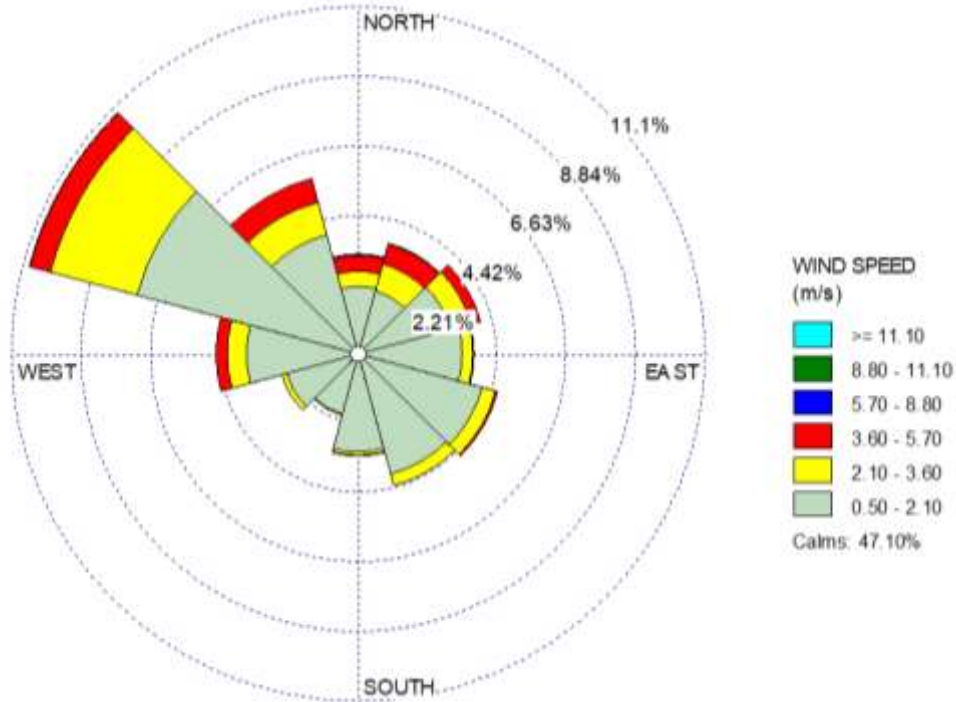


**Figura 5-174. Rosa de vientos diurna.**

*Fuente: SAG, 2024*

En la rosa de los vientos nocturna (Figura 5-175), se puede observar que los vientos predominan en la dirección noroeste con vientos desde 0,5 m/s hasta los 5,7 m/s y una frecuencia superior al 10%.

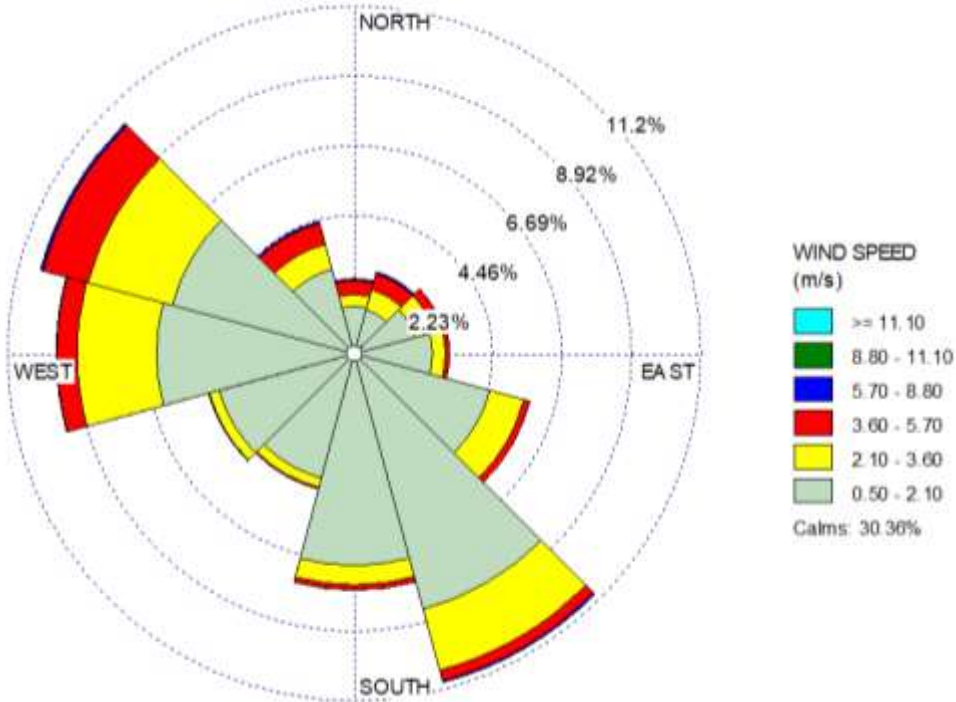




**Figura 5-175. Rosa de vientos nocturna.**

*Fuente: SAG, 2024*

En la rosa de los vientos total (ver Figura 5-176) se puede observar una dirección resultante con componentes desde el noroeste y del sureste, con vientos desde los 0,5 m/s a los 8 m/s, con frecuencias superiores al 9%, esto concuerda con la dirección general del viento del valle en el cual se encuentra el área de influencia.



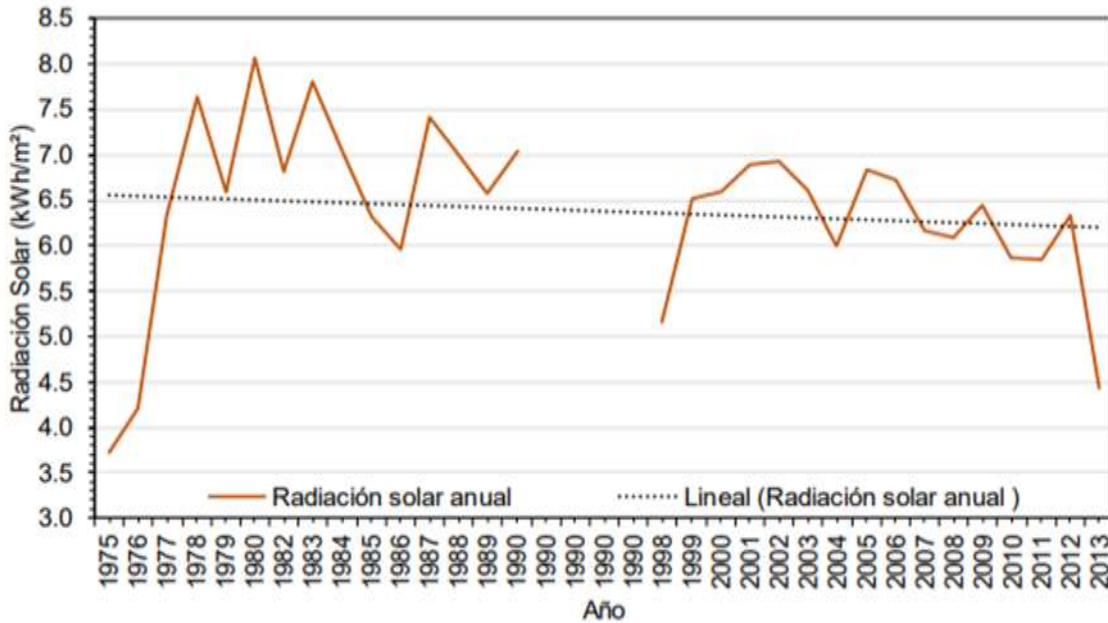
**Figura 5-176. Rosa de vientos total.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.11.3.6 Radiación Solar

Para las estaciones Granja Nacional y Túnez Hacienda el IDEAM no registro información sobre radiación solar, esta fue calculada a partir de los valores de brillo solar implementando la ecuación de Masson que establece una relación con el número de horas de brillo solar.

En la Figura 5-177 se presenta la radiación solar anual obtenida de la estación Túnez Hda, en esta se puede observar que la radiación solar anual tiene una tendencia a disminuir con el pasar del tiempo.



**Figura 5-177. Radiación solar anual (kWh/m<sup>2</sup>) – Estación Túnez Hda.**

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022

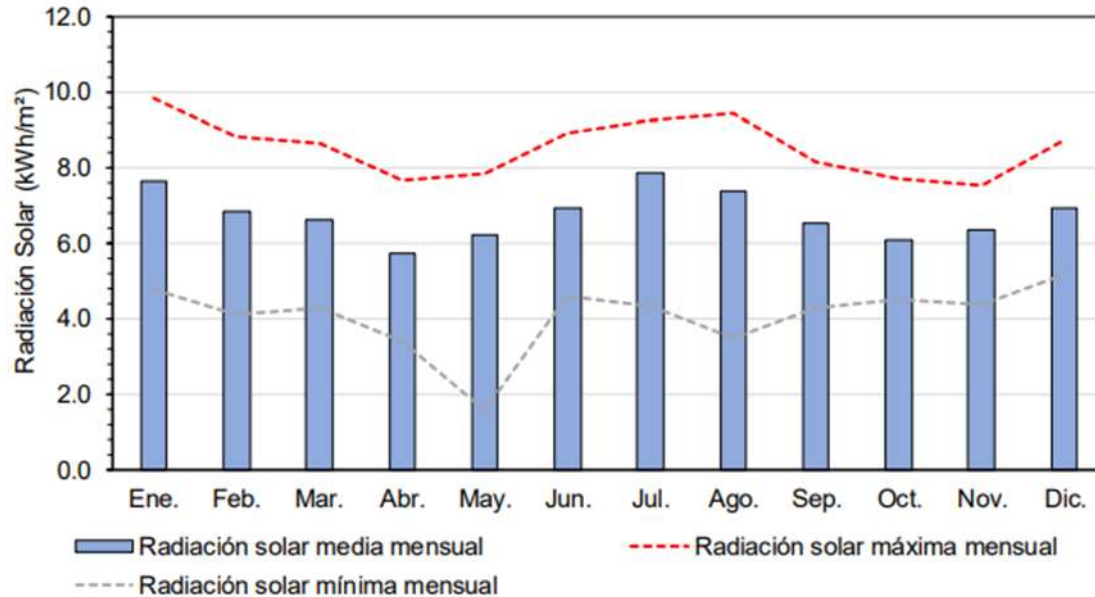
#### 5.1.11.3.6.1 Variaciones mensuales y perfiles horarios de la radiación solar

En la Tabla 5-219 y Figura 5-178 se presenta la radiación solar mensual total de la estación Túnez Hacienda, en esta se observa que la radiación solar presenta un aumento en el mes de julio, mostrando un máximo de los promedios de 7,89 kWh/m<sup>2</sup>, este comportamiento es consecuente con el presentado en la temperatura y humedad relativa. Dicha estación presenta valores entre 1,59 kWh/m<sup>2</sup> y 9,84 kWh/m<sup>2</sup> por mes.

**Tabla 5-219. Radiación solar mensual total (kWh/m<sup>2</sup>)- Estación Túnez Hda.**

Radiación Solar	Ene	Feb	Marz	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Medios	7,73	6,87	6,64	5,73	6,25	6,92	7,89	7,39	6,48	6,11	6,32	6,92
Máximos	9,84	8,82	8,67	7,66	7,86	8,90	9,29	9,48	8,15	7,72	7,54	8,75
Mínimos	4,76	4,11	4,29	3,39	1,59	4,59	4,34	3,49	4,31	4,50	4,40	5,18

Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022



**Figura 5-178. Radiación solar mensual total (kWh/m²)- Estación Túnez Hda.**

*Fuente: SAG, 2024 con información de IDEAM, 2022*

#### 5.1.11.4 Ruido

A continuación, se presenta la caracterización del ruido ambiental en la zona, incluyendo la identificación de fuentes existentes, monitoreos y la predicción del cambio de niveles durante la ejecución del proyecto por medio de una modelación.

##### 5.1.11.4.1 Fuentes de generación de ruido existentes

Las fuentes de ruido ambiental presentes en el área de influencia abiótica se asocian principalmente a las fuentes de tráfico rodado, donde la principal por su flujo vehicular es la vía primaria Bolombolo – La Pintada, cuyas características y aforos se describieron en la sección de fuentes móviles (Tabla 5-207. Datos de tránsito diario (TPD) y tipo de flota vehicular). Además, por la cercanía del proyecto al río Cauca y por encontrarse en un sector rural, se espera también la presencia de fuentes de ruido no estimables asociadas al ecosistema de la zona, tales como aves, insectos, mamíferos además del sonido del fluir del agua y del viento.

Durante visitas de campo también se identificó el uso de un helipuerto en el hotel Tahití que debido a su baja frecuencia de uso se estima despreciable en comparación de las fuentes continuas descritas.

#### 5.1.11.4.2 Potenciales receptores de interés

Los receptores de interés identificados para ruido ambiental son los mismos descritos en la sección de receptores sensibles para calidad del aire (ver [Figura 5-154](#)), específicamente los expuestos en la [Tabla 5-220](#).

**Tabla 5-220. Receptores de Interés.**

ID	Descripción	Coordenadas Origen Nacional	
		X	Y
RS-1	Vivero Miramontes	4700131.26	2203514.66
RS-2	Finca La Piñera	4699705.66	2203369.38
RS-3	C.E.R Alfonso Palacio Arango	4699989.68	2203194.01
RS-4	Parque infantil C.E.R Alfonso Palacio	4700006.59	2203177.07
RS-5	Cancha C.E.R Alfonso Palacio	4700011.89	2203173.63
RS-6	Estación Jericó (ferrocarril de Antioquia)	4699995.76	2203140.47
RS-7	Hacienda La Tuntuna	4701572.40	2203098.74
RS-8	Hacienda La Granja	4699754.45	2203085.11
RS-9	Estación de policía	4700286.19	2203035.48
RS-10	Tienda Donde Angela	4700265.52	2203013.94
RS-11	Tapias	4700564.62	2202999.41
RS-12	Tienda Donde El Negro	4700248.93	2202994.53
RS-13	Cabañas La Bolivariana	4700443.31	2202963.78
RS-14	Puente sobre el río Cauca Puente Iglesias	4700235.92	2202925.67
RS-15	Garrucha	4700495.35	2202910.99
RS-16	Casa Delgado JAC	4700537.88	2202910.12
RS-17	Cancha Taravera	4700009.93	2202777.64
RS-18	Estadero Las Cabañas	4700231.35	2202766.34
RS-19	Acopio Mototaxi	4700218.17	2202760.66
RS-20	Tienda	4700218.43	2202758.44
RS-21	Capilla Santa María de Piedras	4700153.26	2202750.80
RS-22	Comidas rápidas Donde Caliche	4700249.18	2202749.00
RS-23	Expendio de carnes	4700237.27	2202747.55
RS-24	Hacienda Toreadero	4700247.76	2202732.28
RS-25	Tienda Río Cauca	4700248.38	2202729.20
RS-26	Bomba Texaco	4700265.30	2202726.22
RS-27	Restaurante Puente Iglesias	4700236.57	2202724.36
RS-28	Vivienda Puente Iglesias	4700251.41	2202705.74
RS-29	Canoas	4702067.66	2202695.70
RS-30	Parcelación Botero Alta	4699589.39	2202693.07
RS-31	Hacienda La Botero	4701091.98	2202681.19
RS-32	Estadero Brisas del Cauca	4701408.59	2202528.73
RS-33	Estadero El Indian	4701451.94	2202490.80
RS-34	Vivero Uchaco	4701666.57	2202428.93
RS-35	Estadero El Zarco	4701724.40	2202407.64
RS-36	Hacienda La Soledad	4706964.89	2202363.58
RS-37	Parcelación Botero	4700228.97	2202299.64
RS-38	Casa de Oración El Nazareno	4702168.66	2202201.20
RS-39	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	4702259.33	2202183.49
RS-40	Oficina del Acueducto	4702276.51	2202168.94
RS-41	Tienda y billares El Desvare	4702342.67	2202130.78

ID	Descripción	Coordenadas Origen Nacional	
		X	Y
RS-42	Planta de Acopio Naranjas La Blanquita	4702797.43	2201855.91
RS-43	Cancha Los Martinez	4702679.18	2201722.97
RS-44	Estatua Sagrado Corazón	4703104.61	2201654.49
RS-45	Hacienda La Blanquita	4702993.61	2201618.61
RS-46	Hotel Tahití	4707179.68	2201516.11
RS-46-1	Sitio aterrizaje helicóptero (Hotel Tahití)	4707027.45	2201431.23
RS-47	Finca El Tajos de Son del Cauca	4707334.17	2201495.73
RS-48	Casa Manantiales	4704065.91	2201462.00
RS-49	Hacienda Palmeras	4702410.66	2201378.98
RS-50	Venta de arepas	4703854.43	2201249.20
RS-51	Casa Granadas	4704571.76	2201228.38
RS-52	Hacienda Bariloche	4702816.67	2201112.83
RS-53	Tienda Oscar Marín	4704098.30	2201109.19
RS-54	Hacienda Rompederos	4709750.40	2201093.26
RS-55	La Ye	4701147.72	2201090.45
RS-56	Cancha La Guajira	4704147.42	2200951.28
RS-57	Peaje La Pintada	4703409.11	2200930.30
RS-58	San Antonio	4701216.95	2200739.57
RS-59	Báscula	4703832.07	2200698.97
RS-60	Hacienda San Antonio	4701600.72	2200590.30
RS-61	Báscula	4703823.21	2200589.45
RS-62	La Guamo	4704602.38	2200130.05
RS-63	Hacienda El Guamo	4704438.53	2200093.54
RS-64	CCO La Pintada	4704216.68	2199932.19
RS-65	Planta de Beneficio Agrotúnez S.A.	4706558.93	2199651.18
RS-66	Hacienda Túnez	4706629.19	2199627.62
RS-67	Cancha Trabajadores Túnez	4706676.13	2199264.76
RS-68	Sevilla	4707032.63	2198616.58

Fuente: SAG, 2024

#### 5.1.11.4.3 Monitoreos de ruido ambiental



Para caracterizar el ruido ambiental en el área de influencia abiótica del proyecto se realizaron dos campañas de monitoreo de acuerdo con la normativa colombiana vigente Resolución 0627 de abril 7 de 2006 capítulo III, emitida por el antes llamado Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).




Las mediciones fueron realizadas por SIAM INGENIERÍA S.A.S. Laboratorio acreditado por el IDEAM mediante la resolución 1742 del 30 de Julio de 2018. Cabe aclarar que se presentan 2 campañas de monitoreo, una realizada en junio del 2022 y otra en junio de 2023 teniendo en cuenta las zonas más relevantes según el diseño del proyecto. El conjunto de estos se consideran una muestra representativa de los niveles de ruido típicos del sector. Los informes de laboratorio se encuentran en el ANEXO\_5\_1\_15\_MONITOREOS, subcarpeta RA, para cada campaña de 2022 y 2023, respectivamente.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

A continuación, en la Tabla 5-221 y la [Figura 5-179](#) se presentan las coordenadas de los puntos de medición y su descripción.

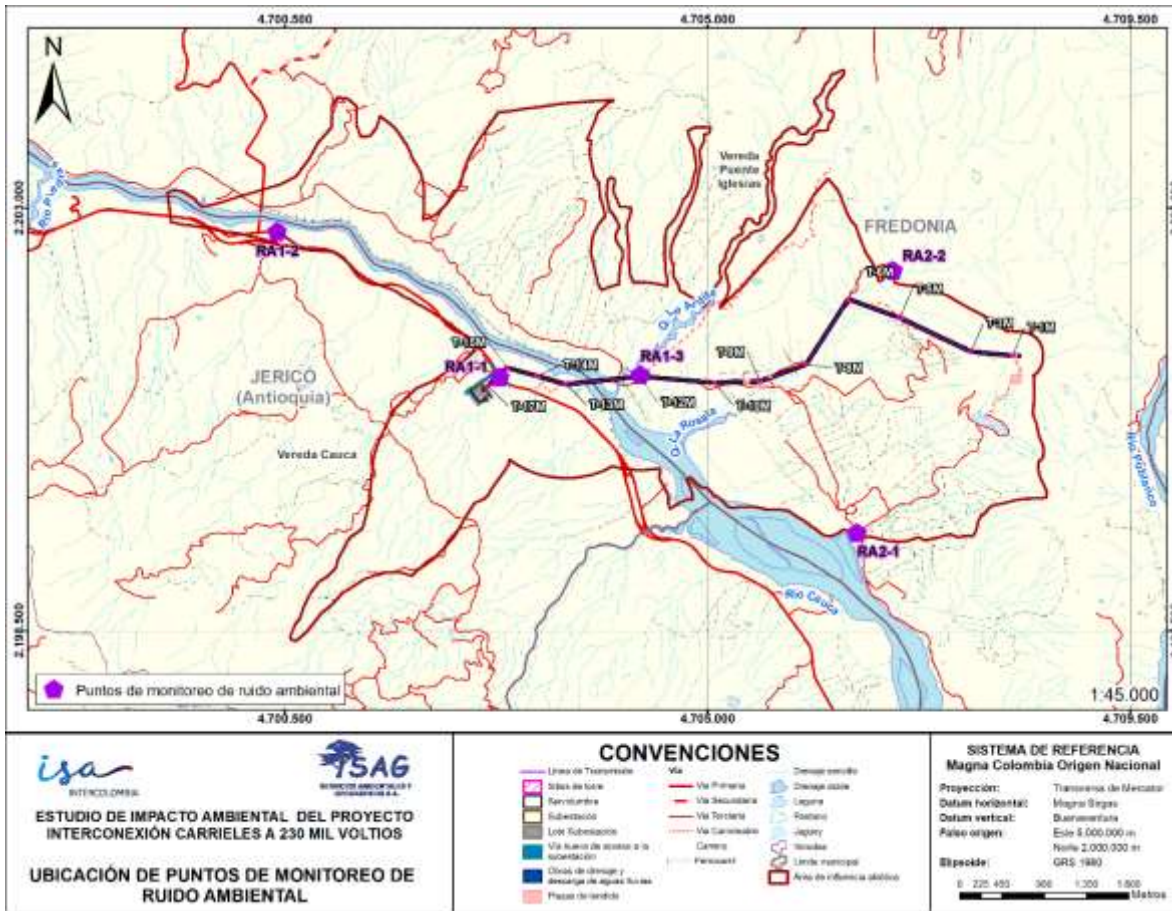
**Tabla 5-221. Ubicación puntos de monitoreo de ruido ambiental.**

ID	Campaña	Fecha de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Descripción punto	Registro fotográfico
			Este	Norte		
RA1-1	1 (año 2022)	18 a 21-06-2022	4.702.790	2.201.201	<p>Punto de medición ubicado en la entrada de la finca Bariloche cerca de la doble calzada que comunica a Bolombolo con la Pintada en el municipio de Jericó-Antioquia a 500 metros del peaje, se observa pastos de bajo corte, arboles alrededor, portería de la finca, vía sin pavimentar y pavimentada.</p> <p>Desde el punto de medición se observó la vía que conduce a la Pintada con Bolombolo, se diligencia el aforo vehicular de la vía primaria de alto tránsito; es de aclarar que la percepción del ruido de la vía es notoria durante las mediciones.</p>	
RA1-2	1 (año 2022)		4.700.421	2.202.754	<p>Punto de medición ubicado en la vereda puente iglesias en la rotonda en una carretera pavimentada en el municipio de Jericó-Antioquia, se observa árboles y pastos de bajo corte.</p> <p>Desde el punto de medición se observó la vía que conduce a la Pintada con Bolombolo, se diligencia el aforo vehicular de la vía secundaria de bajo tránsito; es de aclarar que la percepción del ruido de la vía es notoria durante las mediciones.</p>	

ID	Campaña	Fecha de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional		Descripción punto	Registro fotográfico
			Este	Norte		
RA1-3	1 (año 2022)		4.704.287	2.201.230	<p>Punto ubicado en el corregimiento la Guajira en la vía sin pavimentar que conduce a Agrotunez en el Municipio de Fredonia, se observa alrededor árboles y pastos de bajo corte.</p> <p>Desde el punto de medición se observó la vía que conduce a Agrotunez con Puente Iglesias, se diligencia el aforo vehicular de la vía terciaria de bajo tránsito; es de aclarar que la percepción del ruido de la vía es notoria durante las mediciones.</p>	
RA2-1	2 (año 2023)	09 a 11-06-2023	4.706.594	2.199.551	<p>Punto ubicado sobre una superficie plana sin cobertura vegetal, entrada a la empresa Agrotúnez cerca del río Cauca. El sonómetro se instaló en dos trípodes izándolo a 4 m del suelo y a un costado se ubicó la estación meteorológica.</p>	
RA2-2	2 (año 2023)		4.706.978	2.202.338	<p>Punto ubicado en el jardín de la hacienda La Soledad sobre una superficie plana con cobertura vegetal. El sonómetro se instaló en dos trípodes izándolo a 4 m del suelo y a un costado se ubicó la estación meteorológica.</p>	

Fuente: SAG, 2024.

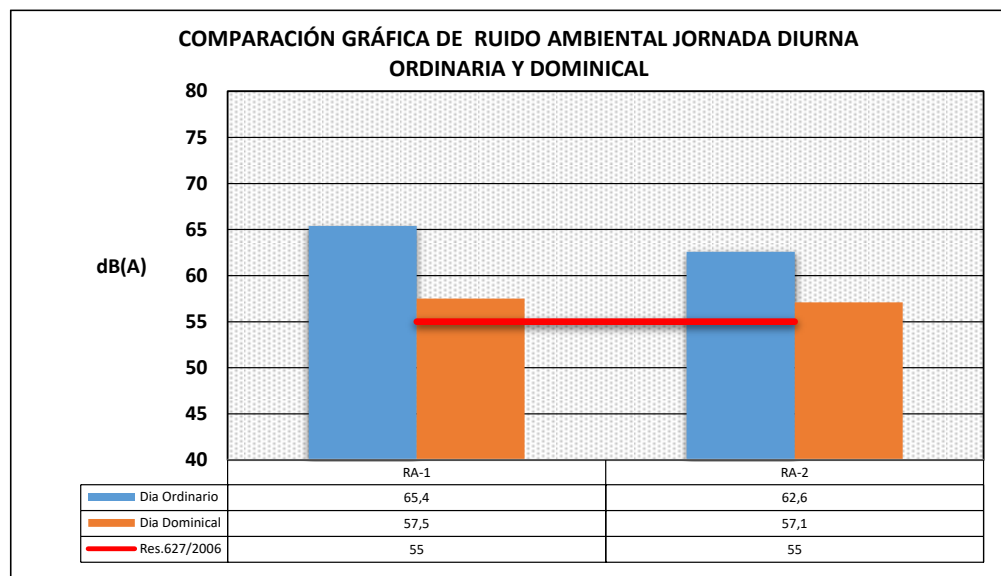
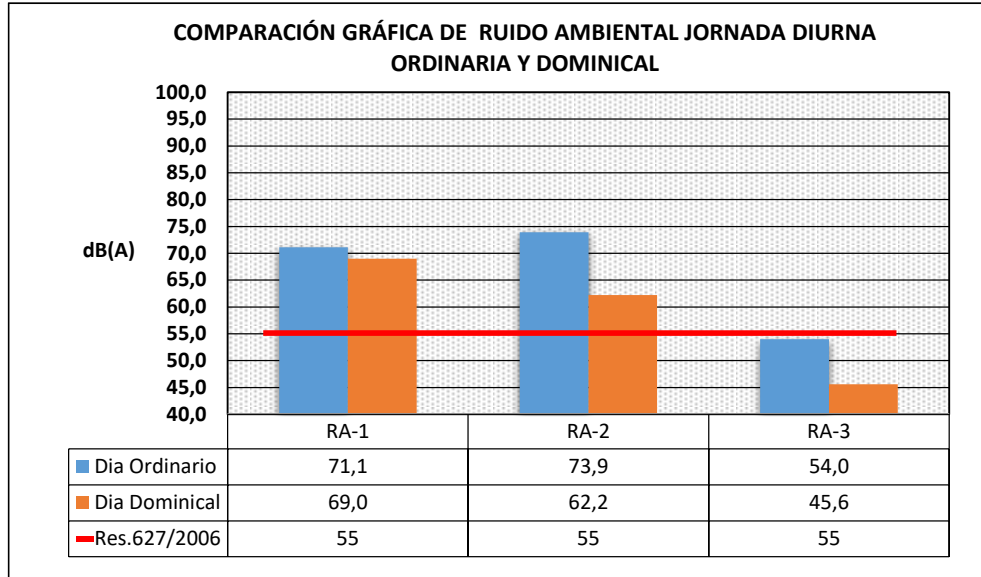




**Figura 5-179 Ubicación de puntos de monitoreo de ruido ambiental.**

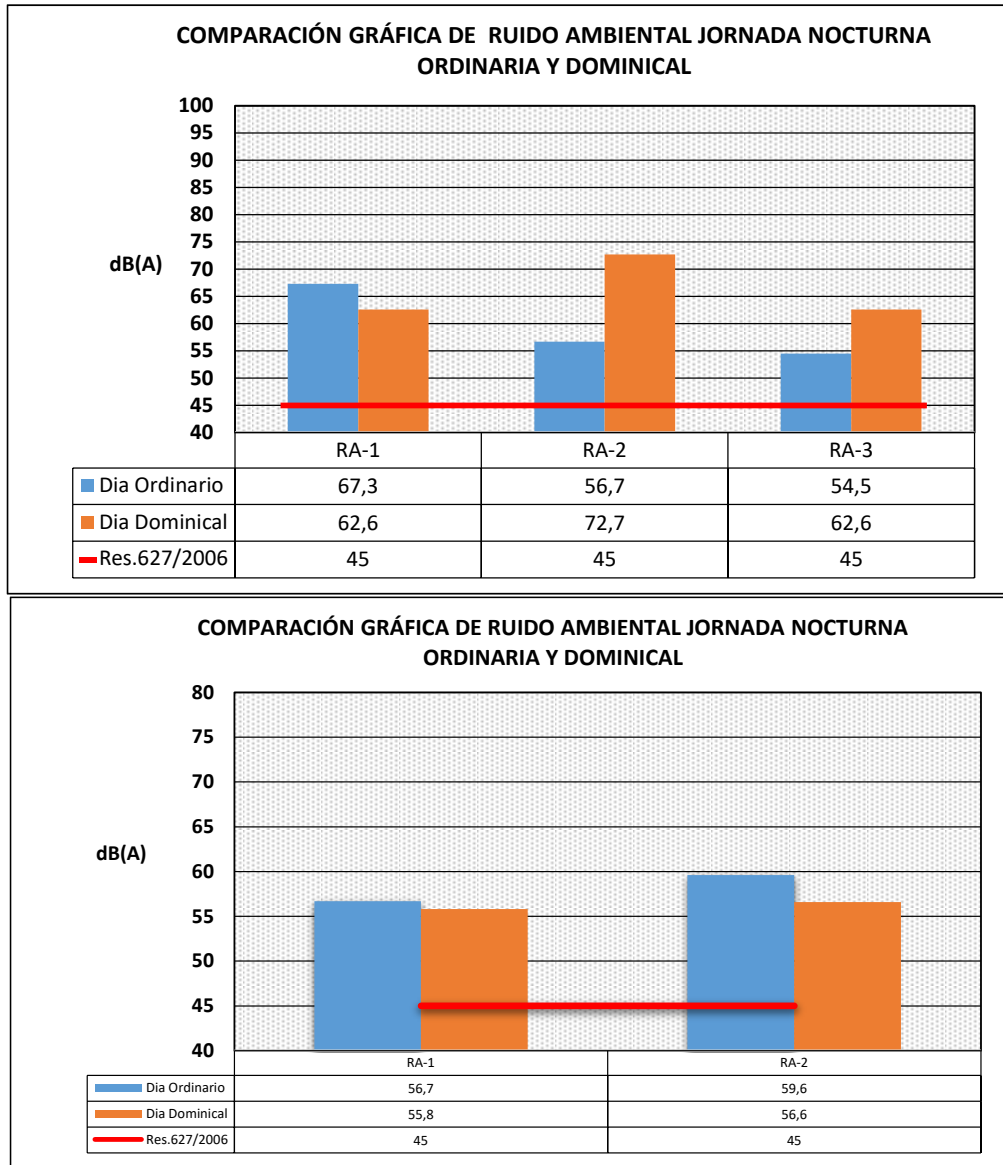
Fuente: SAG, 2024

En la Figura 5-180 se muestran los resultados obtenidos en los cinco (5) puntos de medición, tres (3) puntos en la campaña 1 (2022) y dos (2) puntos en la campaña 2 (2023) clasificados como sector D (Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado) para la jornada diurna ordinaria y dominical.



**Figura 5-180 Resultados de ruido ambiental jornada diurna.**

*Fuente: SIAM Ingeniería, 2023*



**Figura 5-181 Resultados de ruido ambiental jornada nocturna.**

*Fuente: SIAM Ingeniería, 2023*

En estas gráficas se observa cómo solo para el punto RA1-3 en jornada diurna en día ordinario y dominical el valor de ruido ambiental se encuentra por debajo del límite establecido en la normatividad, ninguno de los puntos restantes cumple con los máximos permisibles en cada jornada medida; los factores que estuvieron presente durante la captura de los datos fueron:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

Influencia de ruido natural (fauna y ruidos naturales) y actividades cotidianas de explotación agropecuaria y movilización de vehículos (principalmente por cercanía a fincas). Se observa además que los niveles de presión sonora del día ordinario tienden a ser mayores en comparación con los dominicales.

Por otro lado, el nivel de presión sonora más alto evidenciado corresponde al punto RA1-2 el día diurno ordinario con 73,9 dB(A), donde predominó la influencia de ruido natural y el nivel de presión sonora más bajo se evidenció el día diurno dominical en el punto RA1-3 con 45.6 dB(A) valor por encima del límite máximo permisible que establece la Resolución MADS 0627 del 2006 para este sector.

Los niveles de presión sonora en la zona en general estuvieron por el orden de los 45 a los 74 dB(A).

De esta manera, los monitoreos de ruido ambiental evidencian que el 90% de los niveles de presión sonora registrados en los puntos de medición, presentan niveles de ruido ambiental mayores a la norma en sus respectivos sectores, donde, tanto en jornada diurna como en nocturna todos los puntos presentaron al menos un incumplimiento al límite de ruido, ya sea en día ordinario o dominical.

De lo anterior se puede concluir que actualmente para jornada diurna y nocturna en días ordinario y dominical el área de influencia ya presenta niveles de presión sonora por encima de la norma.

#### 5.1.11.4 Modelo de ruido ambiental

Para realizar una proyección de los niveles de ruido ambiental durante la construcción del proyecto y evaluar su impacto se realizó un modelo de ruido para 3 escenarios (línea base, construcción y operación).

El software usado para la elaboración del modelo de ruido fue SoundPLAN Noise 9.0, el cual permite estimar los niveles de ruido ambiental sobre un área definida, mediante el cálculo de los aportes hechos por las fuentes modeladas de acuerdo a las metodologías desarrolladas por las autoridades ambientales de varios países, SPn cumple con los requisitos de Garantía de Calidad de software para el cálculo de sonido en exteriores según DIN 45687 e ISO 17534. (Ver certificado de licencia, Figura 5-182).

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08



**Figura 5-182. Licencia de SoundPLAN Noise 9.0 de SAG S.A.**

*Fuente: SAG, 2024*

Puesto que la **normativa colombiana no reglamenta ningún método de cálculo** para la emisión de ruido por tráfico rodado, aéreo, férreo y actividad industrial, se utilizaron los métodos de cálculo recomendados en el Artículo 6.2 de la directiva 2002/49/EC Environmental Noise Directive (END)<sup>159</sup>, el cual establece los métodos comunitarios de evaluación de ruido en Europa (CNOSSOS-EU) como la metodología de cálculo a utilizar cuando un país no cuenta con una metodología válida propia.

El informe de la modelación de ruido ambiental desarrollado para el proyecto se incluye como parte integral del EIA en el ANEXO\_5\_1\_17\_MDRA. En la presente sección se describen los aspectos más importantes de su configuración, datos de entrada y resultados, los cuales son necesarios para establecer la valoración del impacto.

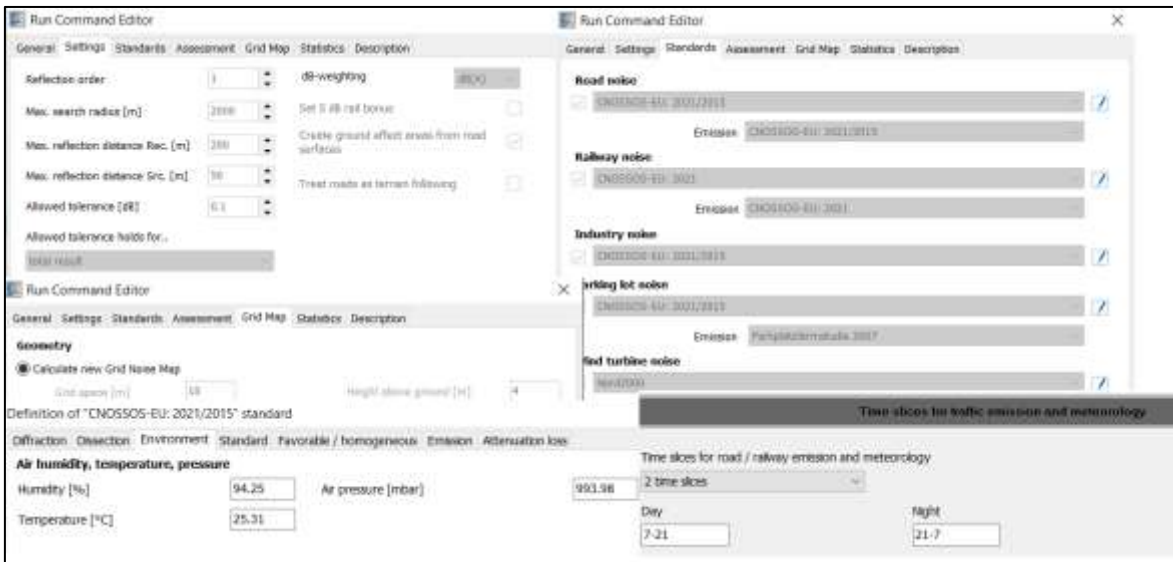
#### 5.1.11.4.4.1 Configuración de datos de entrada

El área para este análisis se delimitó enmarcando un buffer de 1.500 m sobre las obras de intervención del proyecto; se establecieron 2 periodos de modelación según los horarios estipulados en la resolución MADS 0627-2006, diurno (7:01h a 21:00h) y nocturno (21:01 a 7:00), considerando los horarios de cada actividad y fuente relacionada del proyecto.

<sup>159</sup> The European Parliament And The Council Of The European Union, "Directive 2002/49/EC of the European Parliament relating to the assessment and management of environmental noise - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise", [en línea] disponible en : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>.

El mallado de cálculo se configuró a 10m, se tomaron reflexiones de primer orden y tolerancias de 0.1dB, los modelos se calcularon a una altura de 4 m como específica la misma Resolución.

En la Figura 5-183 se resumen los parámetros de cálculo generales más relevantes.



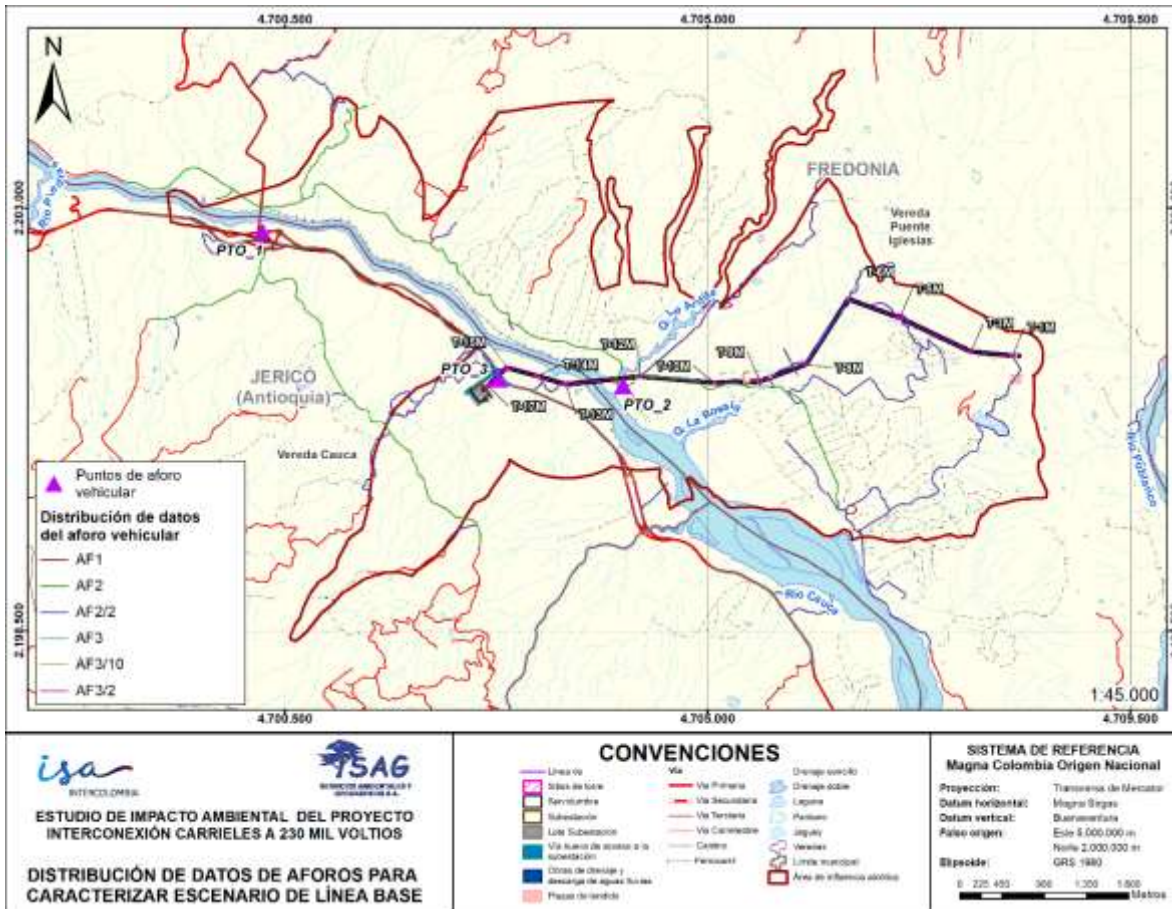
**Figura 5-183. Configuración de cálculo en SoundPLAN.**

*Fuente: SAG, 2024*

Adicionalmente fueron ingresadas las fuentes específicas de cada escenario sobre la topografía considerando coberturas del suelo como coeficientes de absorción acústica diferenciados (agua y superficie de vías=0 y tierra=1 o totalmente absorbente).

- Escenario de línea base

Para el escenario de línea base se consideró como principal fuente de emisión aportante al ruido ambiental las vías tipo 1, 2 y 3 carretables de la cartografía base del proyecto. A partir de los datos de la campaña de aforo de caracterización (Sección 5.1.11.1, Tabla 5-206) y asumiendo fracciones sobre las bifurcaciones de estos valores conocidos se estimaron los flujos vehiculares promedios horarios como entrada para cada objeto tipo vía en el área, como se muestra en la [Figura 5-184](#).



**Figura 5-184. Distribución de datos de aforos para caracterizar escenario de línea base.**

Fuente: SAG, 2024

En la Figura 5-185 se presentan las fuentes y receptores incluidos en el modelo de línea base.



**Figura 5-185. Fuentes consideradas en el escenario de línea base – SoundPLAN.**

*Fuente: SAG, 2024*



- Escenario de construcción

A partir de la descripción del proyecto se identificaron las fuentes de obras civiles más relevantes relacionadas y los movimientos de materiales por medio de tráfico rodado en las vías específicas a usar para este fin y se planteó una jornada laboral de 7AM a 4PM, es decir, no se plantea impacto por construcción en la jornada nocturna de la normativa de ruido.

Las fuentes se idealizaron como geometrías tipo áreas a las que les fueron asignadas potencias sonoras consultadas de inventarios de fuentes de ruido, fuentes académicas o técnicas de fabricantes de equipos. En la Tabla 5-222 se detalla las fuentes equivalentes usadas. Dado que estas fuentes se describen con procesos secuenciales, se resalta en color gris la fuente equivalente de mayor magnitud considerando correcciones de área, rendimientos y tiempos de funcionamiento.

**Tabla 5-222. Inventario de fuentes de ruido ambiental consideradas en el escenario de construcción.**

Fuente	Actividad	Fuentes de ruido	Referencia BS-5228/otro	Espectro en frecuencia [Hz] / Nivel de presión sonora a 10m [dB(Z)]								Presión sonora a 10 [dB(A)]	Potencia sonora [dB(A)]
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Vía Subestación	Descapote y remoción de cobertura vegetal	Bulldozer (Descapote)	C.2.1	79	77	76	74	68	67	60	59	83,2	111,2
		Retrocargador	C4.14	68	67	63	62	62	61	54	47	72,6	100,6
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Construcción de la vía de acceso a la subestación	Bulldozer (Extendiendo material)	C.5.12	80	78	71	70	74	68	65	61	83,5	111,5
		Motoniveladora	Cat 120 GC	77	76	72	68	73	67	63	54	81,0	109,0
		Vibrocompactadora	C.5.20	90	82	73	72	70	65	59	54	90,8	118,8
Plazas de tendido	Descapote y remoción de cobertura vegetal	Bulldozer (Descapote)	C.2.1	79	77	76	74	68	67	60	59	83,2	111,2
		Retrocargador	C4.14	68	67	63	62	62	61	54	47	72,6	100,6
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Tendido y regulación de cables conductor y de guarda	Camion-grua	C.4.43	80	76	71	63	64	63	56	50	82,0	110,0
		Malacate y frenadora	Man Riding Winch MR30-FLG	53	47	52	64	65	71	69	61	74,6	88,6

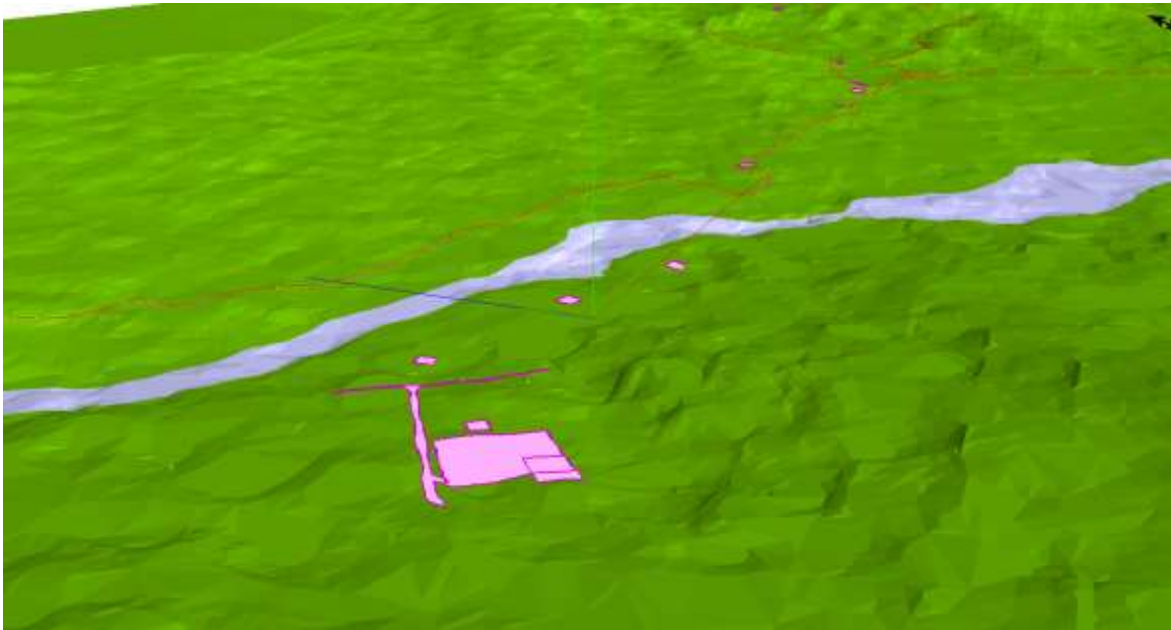
Fuente	Actividad	Fuentes de ruido	Referencia BS- 5228/otro	Espectro en frecuencia [Hz] / Nivel de presión sonora a 10m [dB(Z)]								Presión sonora a 10 [dB(A)]	Potenci a sonora [dB(A)]
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Sitios de torre	Descapote y remoción de cobertura vegetal	Bulldozer (Descapote)	C.2.1	79	77	76	74	68	67	60	59	83,2	111,2
		Retrocargador	C4.14	68	67	63	62	62	61	54	47	72,6	100,6
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Excavación y explanación	Retroexcavadora	C.4.64	74	80	75	73	69	66	60	51	82,8	110,8
		Minicargador	C.4.68	71	71	66	59	59	58	54	48	75,0	103,0
		Vibrocompactador a rammer	Jumping Jack Honda GX100	67	71	68	75	71	72	60	55	79,2	107,2
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Cimentación, lleno compactación	Mezcladora de cemento	C4.23	61	65	58	58	57	53	51	49	68,2	96,2
		Vaciado de cemento (motobomba)	C.4.24	69	64	64	66	63	59	53	47	73,0	101,0
		Vibradores de cemento	C.4.34	62	70	70	64	62	61	59	56	74,5	102,5
	Armado y montaje de estructuras metálicas, equipos y cableado	Camión-grúa	C.4.43	80	76	71	63	64	63	56	50	82,0	110,0
		Montaje de estructuras metálica	C.3.11	68	60	59	57	51	50	45	44	69,5	97,5
Equipo de Soldadura		C3.33	75	67	59	52	48	44	41	33	75,8	103,8	
Intervención Subestación	Descapote y remoción de cobertura vegetal	Bulldozer (Descapote)	C.2.1	79	77	76	74	68	67	60	59	83,2	111,2
		Retrocargador	C4.14	68	67	63	62	62	61	54	47	72,6	100,6
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Excavación y explanación	Retroexcavadora	C.4.64	74	80	75	73	69	66	60	51	82,8	110,8
		Minicargador	C.4.68	71	71	66	59	59	58	54	48	75,0	103,0
		Vibrocompactador a rammer	Jumping Jack Honda GX100	67	71	68	75	71	72	60	55	79,2	107,2
		Volqueta cargue/descargue	C4.8	68	56	47	49	52	50	41	32	68,5	96,5
	Cimentación, lleno	Mezcladora de cemento	C4.23	61	65	58	58	57	53	51	49	68,2	96,2

Fuente	Actividad	Fuentes de ruido	Referencia BS-5228/otro	Espectro en frecuencia [Hz] / Nivel de presión sonora a 10m [dB(Z)]								Presión sonora a 10 [dB(A)]	Potencia sonora [dB(A)]
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
	compactación	Vaciado de cemento (motobomba)	C.4.24	69	64	64	66	63	59	53	47	73,0	101,0
		Vibradores de cemento	C.4.34	62	70	70	64	62	61	59	56	74,5	102,5
	Armado y montaje de estructuras metálicas, equipos y cableado	Camión-grúa	C.4.43	80	76	71	63	64	63	56	50	82,0	110,0
		Montaje de estructuras metálica	C.3.11	68	60	59	57	51	50	45	44	69,5	97,5
		Equipo de Soldadura	C3.33	75	67	59	52	48	44	41	33	75,8	103,8

Fuente: SAG, 2024

En la Figura 5-186 se presentan las fuentes y receptores incluidos en el escenario de construcción.





**Figura 5-186. Fuentes consideradas en el escenario de construcción – SoundPLAN.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Escenario de operación

En este escenario se encuentran como fuentes principales el ruido eléctrico del conjunto de transformadores en la subestación y el tránsito [carreteable para realizar verificaciones](#) y trabajos de mantenimiento de la línea.

De forma análoga a la sección anterior en la Tabla 5-223 se detalla la fuente industrial usada para representar el ruido eléctrico. Cabe recordar que esta fuente es constante en el tiempo que la SE esté en actividad y [que como el nivel de tensión eléctrica de operación es menor a 375kV no se considera significativo el ruido producido por efecto corona.](#)

**Tabla 5-223. Inventario de fuentes de ruido industrial consideradas en el escenario de operación.**

Fuente	Actividad	Fuentes de ruido	Referencia	Espectro en frecuencia [Hz] / Nivel de presión sonora a 10m [dB(Z)]								Presión sonora a 10 [dB(A)]	Potencia sonora [dB(A)]
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Lote SE	Transporte de energía	Transformadores de potencia	SZ9-40000/110 - LI480AC200 con	17,2	37,0	46,2	51,5	39,2	30,5	22,8	13,5	53	81,0

Fuente	Actividad	Fuentes de ruido	Referencia	Espectro en frecuencia [Hz] / Nivel de presión sonora a 10m [dB(Z)]								Presión sonora a 10 [dB(A)]	Potencia sonora [dB(A)]
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
			enfriamiento ONAN*3 <sup>160</sup>										

Fuente: SAG, 2024

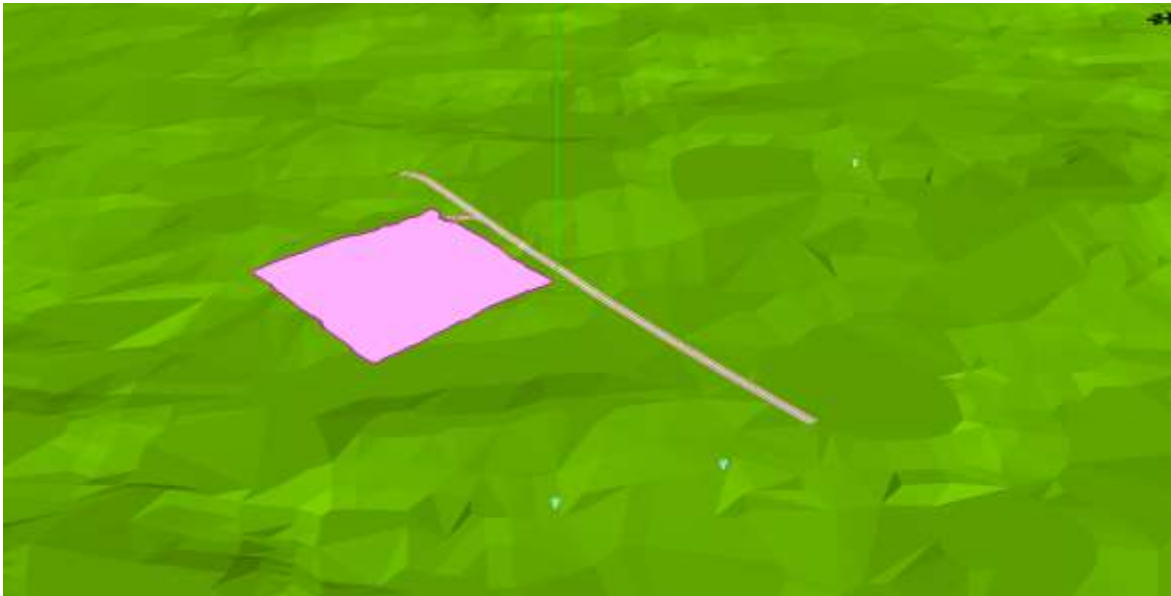
Para describir el posible impacto de las actividades de verificación del funcionamiento y mantenimiento se asumió un flujo vehicular por la vía de ingreso de la subestación de 1 vehículo liviano/h ya que sería la única vía en la que este flujo es mayor al actual, en el resto de vías incluida la autopista ya se presentan volúmenes de tráfico mayores.

En la Figura 5-186 se presentan las fuentes y receptores incluidos en el escenario de operación.



<sup>160</sup> Espectro adaptado de medición a 2 metros del estudio "Analysis of Noise Pollution and Control of Transformer Substations" disponible en línea: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/300/3/032015/pdf>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08



**Figura 5-187. Fuentes consideradas en el escenario de operación – SoundPLAN.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 5.1.11.4.4.2 Resultados

En esta sección se presentan los mapas de ruido ambiental de cada uno de los escenarios modelados para ambos indicadores Ld y Ln (niveles equivalentes diurnos y nocturnos respectivamente) de acuerdo con la normativa nacional Resolución 0627 del 2006 del MADS

- Escenario sin proyecto (Línea Base)

La Figura 5-188 y Figura 5-189 presentan los mapas de ruido de línea base para jornada diurna y nocturna en día ordinario respectivamente.

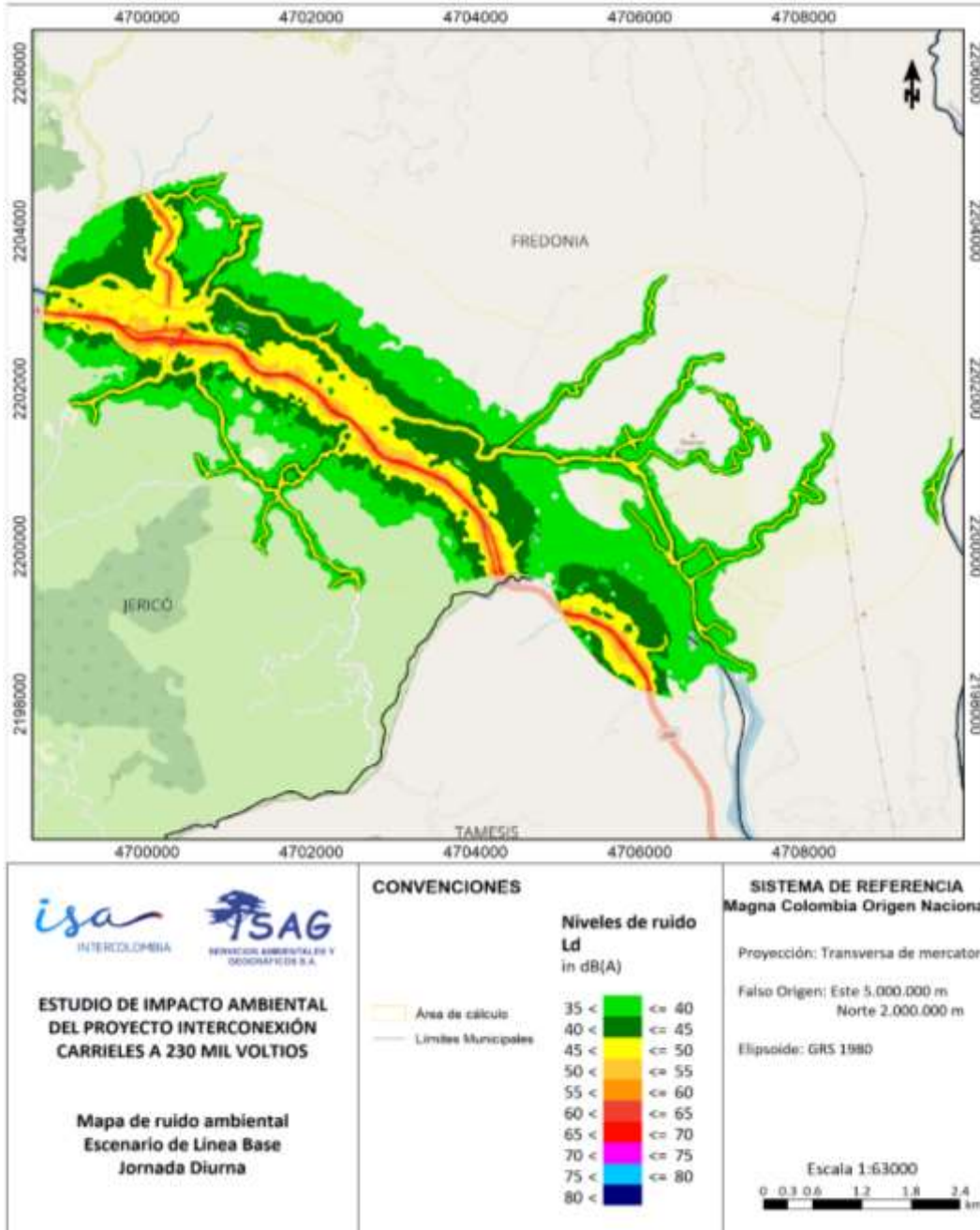
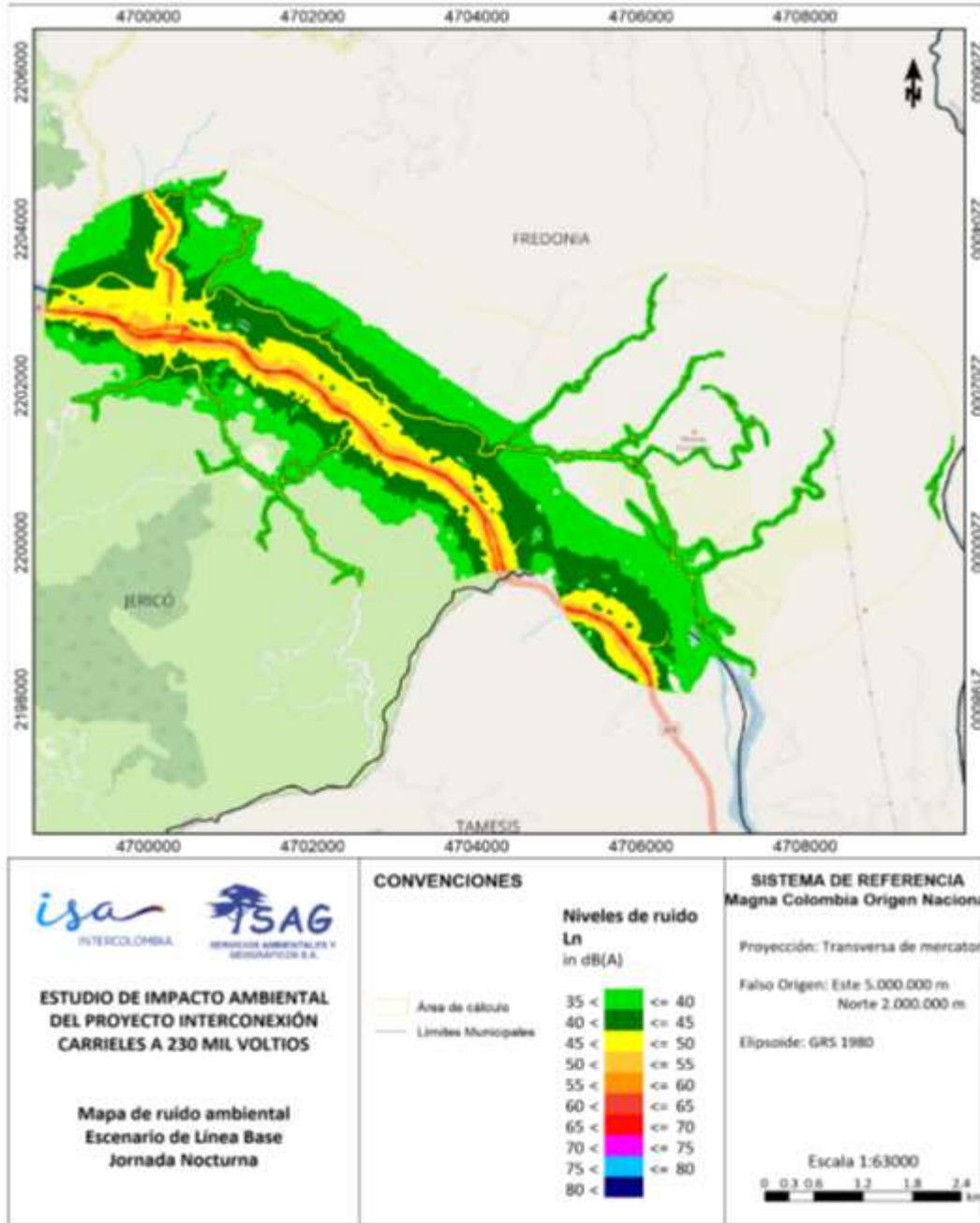


Figura 5-188. Mapa de ruido Escenario de línea base día ordinario periodo diurno.

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-189. Mapa de ruido Escenario de línea base día ordinario periodo nocturno.**

*Fuente: SAG, 2024*



	<p align="center"><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	
<p>Rev. No.: 4</p>		<p>2024-08-08</p>

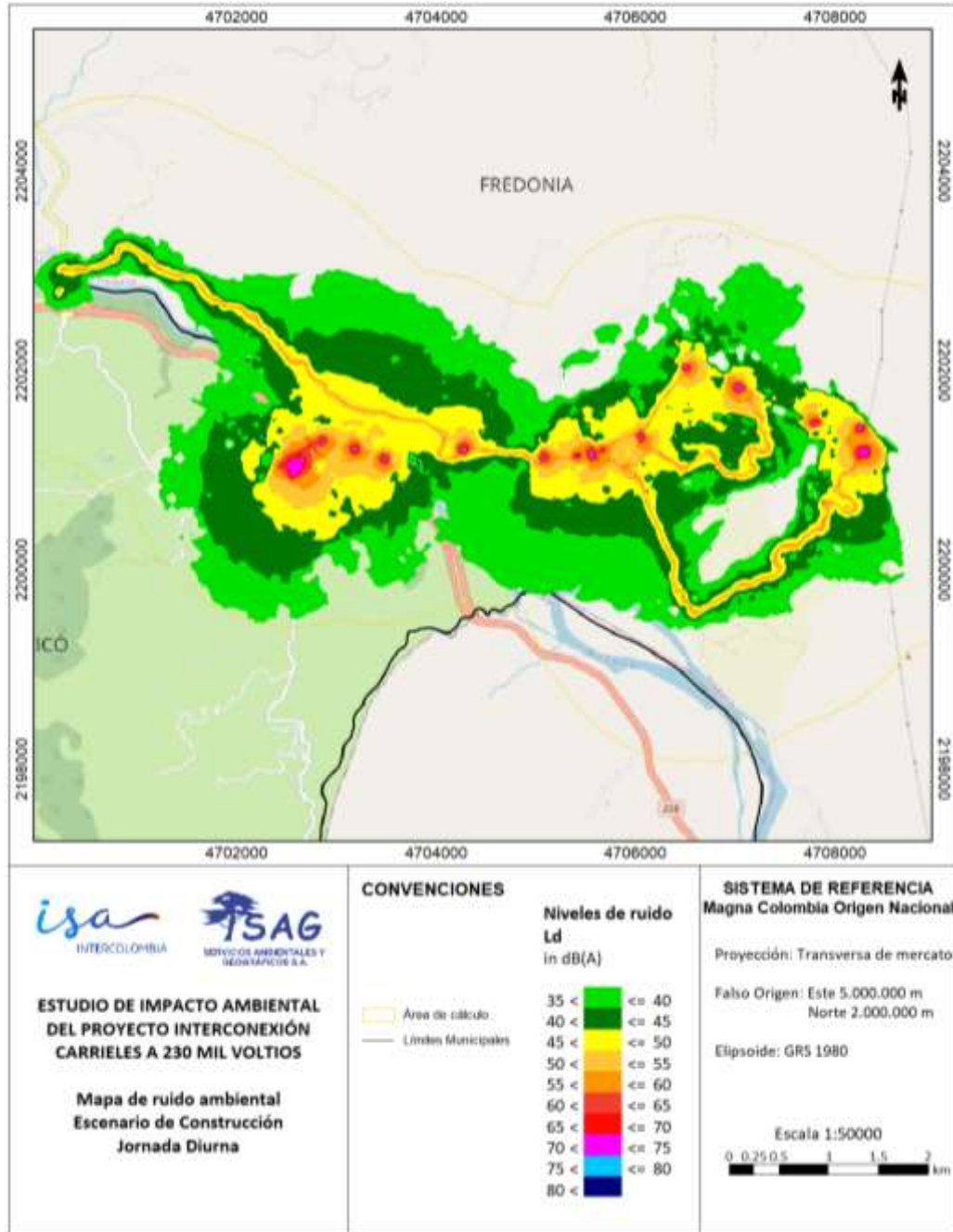
Estos muestran como las zonas cercanas a las vías tipo 1, en especial a la conexión vial pacifico 2 (con un TPD estimado de 5538 en el modelo) son las áreas que presentan mayores niveles de presión sonora llegando a niveles superiores a los 70dB en algunos puntos sobre su eje de emisión. También se observa como por su cercanía al proyecto es actualmente una fuente constante de incidencia importante en el lote de la subestación. De forma similar hacia el norte se espera incidencia principalmente de las vías veredales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las actividades agrícolas, la fauna y el ruido natural de ríos y el viento pueden tener una influencia importante en el ruido ambiental de la zona que no es estimable por este método de simulación.

Se observa además como la zona de subestación eléctrica, presenta aportes al nivel de ruido ambiental por tráfico rodado entre 40 y 45 dB(A) en ambas jornadas. Y como algunos futuros sitios de torre están inmersos en zonas de entre 40 a 50 dB(A).

El panorama general de ruido ambiental en la zona nos permite deducir que ya se presentan problemas de excedencias a los límites normativos en las zonas cercanas a las vías, esto sin incluir los aportes de fuentes de origen natural y antropogénicas.

- Escenario con proyecto (Construcción)

Como se mencionó anteriormente no se prevén obras en la jornada nocturna, por lo que en la Figura 5-190 solo se presenta el mapa de ruido de jornada diurna ordinaria.



**Figura 5-190. Mapa de ruido Escenario de construcción día ordinario periodo diurno.**

Fuente: SAG, 2024

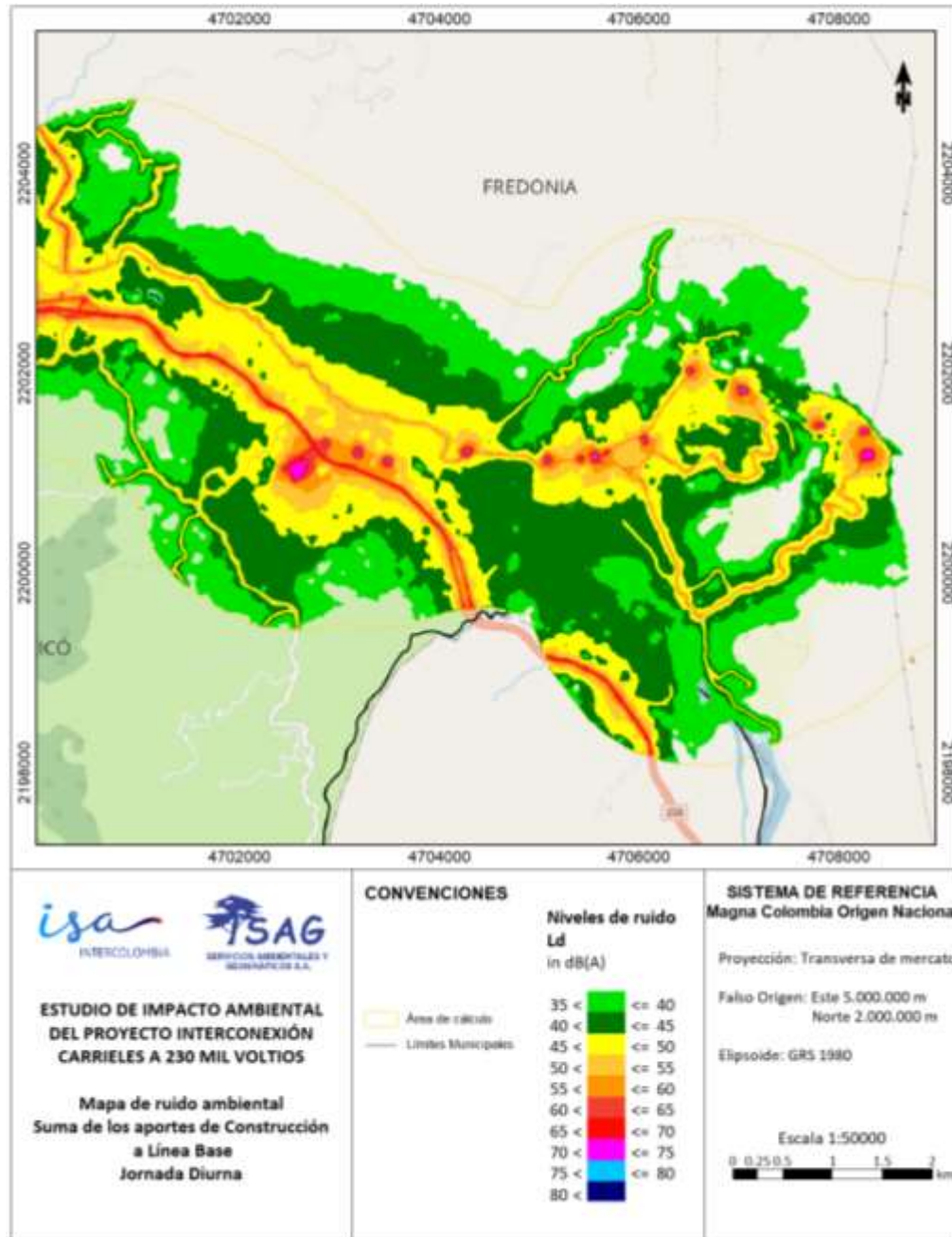
	<p align="center"><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	
<p>Rev. No.: 4</p>		<p>2024-08-08</p>

Esta es una aproximación al nivel diario equivalente LAeq<sub>d</sub> que se tendría si se midieran solo los aportes del proyecto en condiciones promedio de construcción.

Se aprecia que, sobre la zona de la subestación al sur, por la confluencia de diferentes obras relacionadas a la nueva vía, adecuación del lote y el pórtico se presentarán valores de entre 65 y 75 dB(A).

Adicionalmente los frentes de obra de los sitios de torre pueden generar valores de más de 75 dB(A) que decaen a 55dB(A) a distancias de menos de 150m. También se evidencia que al norte donde confluyen plazas de tendido, sitios de torre y vías se puede incrementar la huella de este impacto en dimensión conservando magnitudes similares de 70 a 75 dB(A) en los focos de emisión.

A continuación, se analiza el impacto del proyecto sumando el aporte del proyecto a la línea base estimada.



**Figura 5-191. Mapa de ruido de línea base sumando los aportes de construcción, día ordinario periodo diurno.**

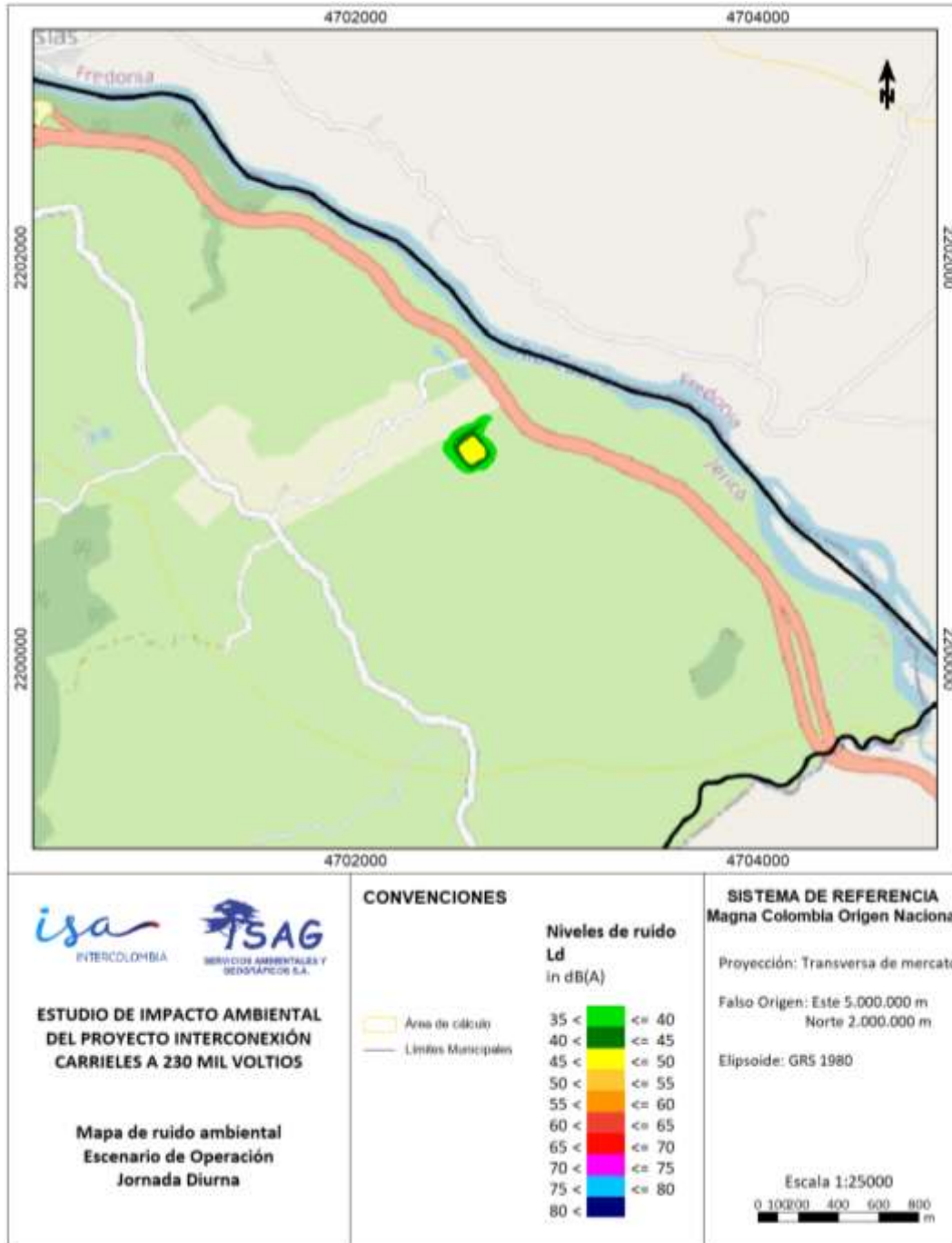
*Fuente: SAG, 2024*

	<p align="center"><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	
<p>Rev. No.: 4</p>		<p>2024-08-08</p>

En la Figura 5-191 se suma energéticamente la línea base con los aportes exclusivos del proyecto, aquí se evidencia que los niveles de presión sonora alrededor de las obras principales del proyecto son similares a las existentes del tráfico rodado, razón por la que pueden incrementar el área de cada isófono. Sin embargo, el aporte del proyecto a las vías es imperceptible pues la diferencia con la línea base suele ser mayor a 3dB. De igual forma los incrementos ocasionados por el proyecto quedan enmarcados en radios de menos de 150 m.

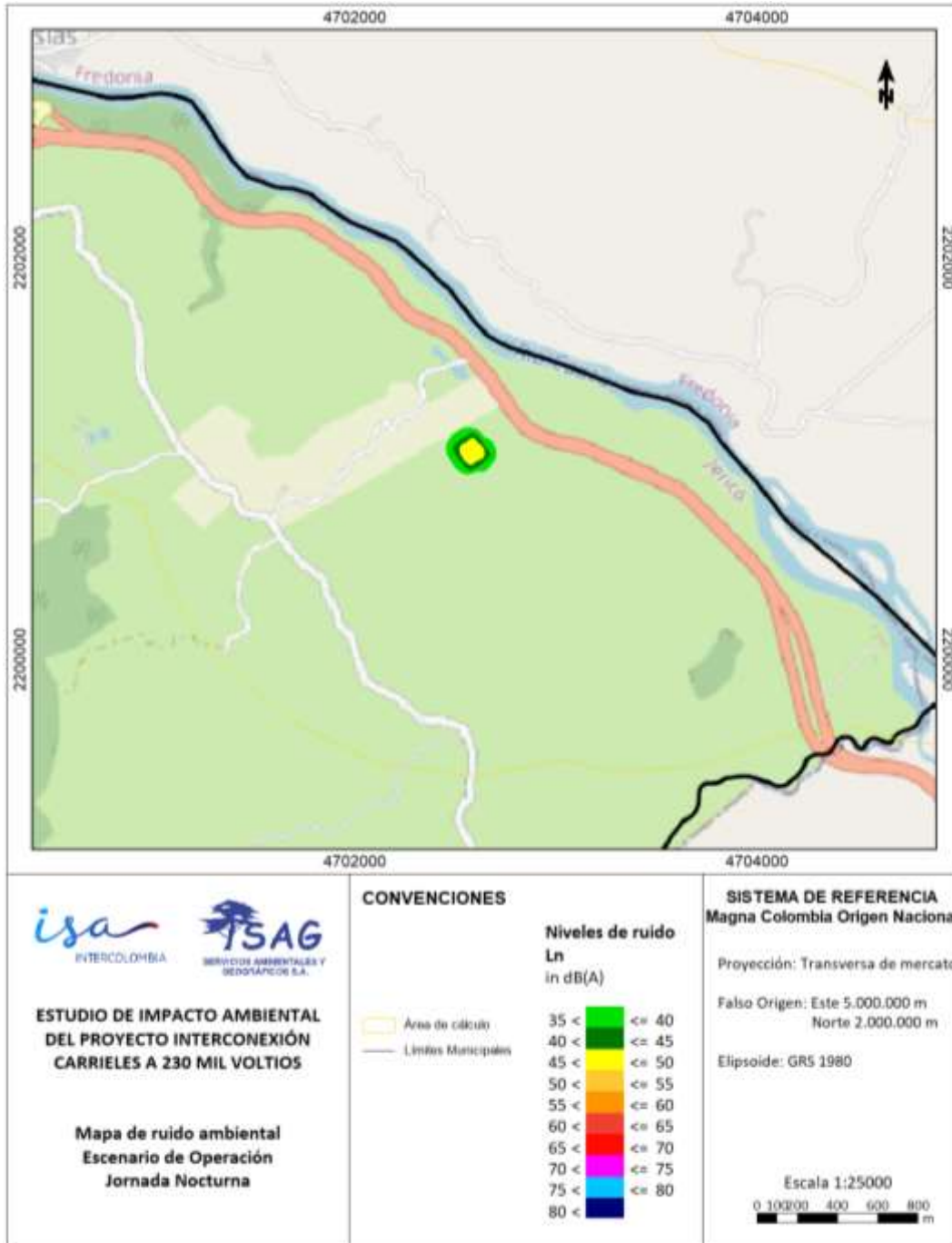
- Escenario con proyecto (Operación)

La Figura 5-188 y Figura 5-189 presentan los mapas de ruido de operación para jornada diurna y nocturna en día ordinario respectivamente.



**Figura 5-192. Mapa de ruido Escenario de operación día ordinario periodo diurno.**

Fuente: SAG, 2024



**Figura 5-193. Mapa de ruido Escenario de operación día ordinario periodo nocturno.**

Fuente: SAG, 2024

Estos muestran como los transformadores de la subestación serían la principal fuente generadora en esta etapa y como estarían en funcionamiento las 24 horas con niveles de aproximadamente 45dB en si foco de emisión y se propaga a niveles por debajo de 35 a distancias de menos de 100m.

Se evidencia también que mientras en el día la vía de ingreso a la subestación modifica la forma de la curva isófona de 40dB y no supone un impacto sensible.

- Resultados en receptores sensibles

A continuación, en la Tabla 5-224 se muestran los resultados en los receptores sensibles identificados en la sección 5.1.11.4.2 y su comparación con el límite estipulado por la normatividad para jornada diurna y nocturna para cada subsector normativo correspondiente (Sector D; Rural habitada destinada a explotación agropecuaria), se resaltan aquellos niveles que superaron este límite para cada escenario modelado (**LB**: Línea Base, **CP**: Construcción del Proyecto, **OP**: Operación del Proyecto) Cabe mencionar que el indicador de ruido nocturno Ln durante la construcción se mantiene igual que en línea base ya que no se proyectan obras de construcción en esta franja horaria.

**Tabla 5-224. Análisis de niveles de ruido esperados en receptores sensibles.**

ID	Descripción	Niveles de presión sonora (dBA)					Incremento neto		
		LB Ld	LB Ln	LB+CP Ld	LB+OP Ld	LB+OP Ln	CP Ld	OP Ld	OP Ln
RS-1	Vivero Miramontes	53.0	51.7	53.0	53.0	51.7	0.0	0.0	0.0
RS-2	Finca La Piñera	49.5	45.9	49.5	49.5	45.9	0.0	0.0	0.0
RS-3	C.E.R Alfonso Palacio	49.3	46.8	49.3	49.3	46.8	0.0	0.0	0.0
RS-4	C.E.R Alfonso Palacio-Cancha	50.3	47.5	50.3	50.3	47.5	0.0	0.0	0.0
RS-5	Cancha C.E.R Alfonso Palacio	50.3	47.5	50.3	50.3	47.5	0.0	0.0	0.0
RS-6	Estación Jericó (Ferrocaril)	48.9	46.9	49.0	48.9	46.9	0.1	0.0	0.0
RS-7	Hacienda La Tuntuna	39.4	38.5	40.3	39.4	38.5	0.9	0.0	0.0
RS-8	Hacienda La Granja	48.6	48.1	48.6	48.6	48.1	0.0	0.0	0.0
RS-9	Estación de policía	52.8	50.7	57.3	52.8	50.7	4.5	0.0	0.0
RS-10	Tienda Donde Angela	50.1	49.0	58.2	50.1	49.0	8.1	0.0	0.0
RS-11	Tapias	48.2	46.7	49.5	48.2	46.7	1.3	0.0	0.0
RS-12	Tienda Donde El Negro	46.8	46.6	56.1	46.8	46.6	9.3	0.0	0.0
RS-13	Cabañas La Bolivariana	48.1	47.4	49.1	48.1	47.4	1.0	0.0	0.0
RS-14	Puente Iglesias sobre el río Cauca	45.3	45.7	46.7	45.3	45.7	1.4	0.0	0.0
RS-15	Garrucha	47.1	47.5	47.3	47.1	47.5	0.2	0.0	0.0
RS-16	Casa Delgado JAC	47.5	47.4	47.6	47.5	47.4	0.1	0.0	0.0
RS-17	Cancha Taravera	53.6	52.7	53.6	53.6	52.7	0.0	0.0	0.0
RS-18	Estadero Las Cabañas	60.2	58.4	60.8	60.2	58.4	0.6	0.0	0.0
RS-19	Acopio Mototaxi	64.4	62.3	65.2	64.4	62.3	0.8	0.0	0.0
RS-20	Tienda	64.5	62.5	65.3	64.5	62.5	0.8	0.0	0.0
RS-21	Capilla Santa María de Piedras	59.1	57.4	59.1	59.1	57.4	0.0	0.0	0.0
RS-22	Comidas rápidas Donde Caliche	63.5	61.6	63.6	63.5	61.6	0.1	0.0	0.0
RS-23	Expendio de carnes	64.2	62.2	64.3	64.2	62.2	0.1	0.0	0.0
RS-24	Hacienda Toreadero	59.6	57.8	59.7	59.6	57.8	0.1	0.0	0.0
RS-25	Tienda Río Cauca	58.7	56.9	58.8	58.7	56.9	0.1	0.0	0.0
RS-26	Bomba Texaco	57.6	55.8	57.7	57.6	55.8	0.1	0.0	0.0
RS-27	Restaurante Puente Iglesias	58.3	56.5	58.4	58.3	56.5	0.1	0.0	0.0
RS-28	Vivienda Puente Iglesias	54.7	53.3	54.8	54.7	53.3	0.1	0.0	0.0
RS-29	Canoas	43.1	41.3	44.6	43.1	41.3	1.5	0.0	0.0



ID	Descripción	Niveles de presión sonora (dBA)					Incremento neto		
		LB Ld	LB Ln	LB+CP Ld	LB+OP Ld	LB+OP Ln	CP Ld	OP Ld	OP Ln
RS-30	Parcelación Botero Alta	47.4	46.8	47.4	47.4	46.8	0.0	0.0	0.0
RS-31	Hacienda La Botero	44.0	44.6	44.5	44.0	44.6	0.5	0.0	0.0
RS-32	Estadero Brisas del Cauca	45.1	45.4	45.3	45.1	45.4	0.2	0.0	0.0
RS-33	Estadero El Indian	46.8	47.2	46.9	46.8	47.2	0.1	0.0	0.0
RS-34	Vivero Uchaco	47.9	48.3	48.1	47.9	48.3	0.2	0.0	0.0
RS-35	Estadero El Zarco	48.1	48.4	48.3	48.1	48.4	0.2	0.0	0.0
RS-36	Hacienda La Soledad	39.9	36.0	43.0	39.9	36.0	3.1	0.0	0.0
RS-37	Parcelación Botero	53.6	49.1	53.6	53.6	49.1	0.0	0.0	0.0
RS-38	Casa de Oración El Nazareno	45.7	46.6	46.7	45.7	46.6	1.0	0.0	0.0
RS-39	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	45.3	45.4	46.6	45.3	45.4	1.3	0.0	0.0
RS-40	Oficina del Acueducto	45.4	45.5	46.7	45.4	45.5	1.3	0.0	0.0
RS-41	Tienda y billares El Desvare	45.0	45.5	46.6	45.0	45.5	1.6	0.0	0.0
RS-42	Planta de Acopio Naranjas La Blanquita	45.8	44.7	50.3	45.8	44.7	4.5	0.0	0.0
RS-43	Cancha Los Martinez	46.6	47.3	49.6	46.6	47.3	3.0	0.0	0.0
RS-44	Estatua Sagrado Corazón	53.7	49.1	58.9	53.7	49.1	5.2	0.0	0.0
RS-45	Hacienda La Blanquita	45.0	44.6	50.5	45.0	44.6	5.5	0.0	0.0
RS-46	Hotel Tahití	36.0	32.4	45.0	36.0	32.4	9.0	0.0	0.0
RS-47	Finca El Tajos de Son del Cauca	52.1	48.0	52.8	52.1	48.0	0.7	0.0	0.0
RS-48	Casa Manantiales	39.4	38.1	48.8	39.4	38.1	9.4	0.0	0.0
RS-49	Hacienda Palmeras	44.5	43.6	47.8	44.5	43.6	3.3	0.0	0.0
RS-50	Venta de arepas	42.3	41.9	47.3	42.3	41.9	5.0	0.0	0.0
RS-51	Casa Granadas	42.8	38.8	48.8	42.8	38.8	6.0	0.0	0.0
RS-52	Hacienda Bariloche	55.1	53.9	58.3	55.1	53.9	3.2	0.0	0.0
RS-53	Tienda Oscar Marín	49.3	45.1	54.0	49.3	45.1	4.7	0.0	0.0
RS-54	Hacienda Rompederos	45.7	41.4	45.7	45.7	41.4	0.0	0.0	0.0
RS-55	La Ye	41.4	37.5	42.1	41.4	37.5	0.7	0.0	0.0
RS-56	Cancha La Guajira	41.8	42.6	43.8	41.8	42.6	2.0	0.0	0.0
RS-57	Peaje La Pintada	66.3	64.8	66.5	66.3	64.8	0.2	0.0	0.0
RS-58	San Antonio	32.0	30.8	36.6	32.0	30.8	4.6	0.0	0.0
RS-59	Báscula	55.8	56.1	56.0	55.8	56.1	0.2	0.0	0.0
RS-60	Hacienda San Antonio	49.6	44.9	50.0	49.6	44.9	0.4	0.0	0.0
RS-61	Báscula	56.4	55.2	56.5	56.4	55.2	0.1	0.0	0.0
RS-62	La Guamo	40.5	41.0	42.3	40.5	41.0	1.8	0.0	0.0
RS-63	Hacienda El Guamo	40.8	41.6	41.9	40.8	41.6	1.1	0.0	0.0
RS-64	C.C.O. La Pintada	55.6	54.9	55.6	55.6	54.9	0.0	0.0	0.0
RS-65	Planta de Beneficio Agrotúnez S.A.	41.6	38.7	49.0	41.6	38.7	7.4	0.0	0.0
RS-66	Hacienda Túnez	41.4	37.9	47.1	41.4	37.9	5.7	0.0	0.0
RS-67	Cancha Trabajadores Tunez	44.3	40.5	44.4	44.3	40.5	0.1	0.0	0.0
RS-68	Sevilla	47.6	43.3	47.6	47.6	43.3	0.0	0.0	0.0
RA22-1	Mon Rdo 2022	65.8	64.3	68.2	65.8	64.3	2.4	0.0	0.0
RA22-2	Mon Rdo 2022	65.7	63.7	65.7	65.7	63.7	0.0	0.0	0.0
RA22-3	Mon Rdo 2022	55.8	50.9	74.1	55.8	50.9	18.3	0.0	0.0
RA23-1	Mon Rdo 2023	49.1	45.1	55.8	49.1	45.1	6.7	0.0	0.0
RA23-2	Mon Rdo 2023	36.7	32.8	41.1	36.7	32.8	4.4	0.0	0.0
<b>Sobrepasos normativos</b>		<b>18</b>	<b>50</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>50</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>--</b>

Fuente: SAG, 2024

Se evidencia que solo en cinco (5) de los 73 puntos evaluados se incumpliría la norma por aportes de la construcción del proyecto, mientras que en línea base ya 68 de 146 indicadores lo incumplen por sus condiciones actuales. El nivel diurno Ld en construcción

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 4	2024-08-08

(donde se presentan las obras) pasa de 5 incumplimientos a 6 y en operación no se generan nuevos incumplimientos sobre los ya existentes en la zona.

Cabe destacar que **varios receptores incluidos, entre ellos el punto RS-44** donde se incumpliría la norma por el aporte de **5.2 dB** del proyecto **o los puntos de monitoreo** se corresponden a sitios de interés cultural y **referencias de línea base** más no están relacionados a ecosistemas o población sensible.

#### 5.1.11.4.4.3 *Resumen del modelo*

Respecto al modelo de línea base, el nivel de ruido ambiental simulado en los **146** indicadores (día y noche en los **73** receptores analizados) es superior a sus límites correspondientes estipulados por la Res-MADS-627/2006 en **68** de ellos, es decir **46.6%** de incumplimiento esperado, la principal fuente de ruido en este escenario son las relacionadas al uso de las vías de tráfico rodado presentes, aunque en mediciones de las mismas variables se espera también contribuciones de otras actividades antropogénicas como procesos agrícolas, encuentros sociales y ruidos naturales.

Para el escenario de construcción **en jornada diurna** se presentarían incumplimientos en los mismos puntos que incumplían en línea base **más 5 (RS-9, RS-10, RS-12, RS-44 y RA-1 de 2023)**, es decir un **31.5%** de sobrepasos a la norma. **Estos puntos se ven influenciados por el tránsito de vehículos pesados por las diferentes vías que llevan a los sitios de torre del margen norte del proyecto, sin embargo, 2 de estos no están relacionados a población asentada o que laboren en el lugar.**

En el escenario de operación donde solo funcionan los transformadores de la subestación **en ambas jornadas incluyendo la diurna donde se esperan además movimientos por su vía contigua, los aportes de estas fuentes sobre todos los puntos evaluados son de 0 dB.**

Las fuentes de ruido industrial de construcción relacionadas a la adecuación de terreno y excavaciones de sitios de torre son las que presentan mayores niveles de ruido en la zona, pero no generan un aporte significativo sobre áreas que se encuentren a más de 150 m de distancia, por lo que su afectación a zonas pobladas cercanas es mínima.