

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.: 3    2024-08-09

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
2 GENERALIDADES .....	2-1
2.1 ANTECEDENTES .....	2-1
2.1.1 Justificación.....	2-2
2.1.2 Estudios e investigaciones previas .....	2-3
2.1.3 Identificación de áreas SINAP y SIRAP, ecosistemas estratégicos y áreas ambientales sensibles .....	2-8
2.1.4 Interrelación con planes, programas y proyectos de interés en el área de influencia .....	2-11
2.2 ALCANCES.....	2-18
2.3 METODOLOGÍA.....	2-21
2.3.1 Descripción del proyecto .....	2-21
2.3.2 Área de influencia.....	2-21
2.3.3 Caracterización del área de influencia .....	2-23
2.3.4 Zonificación ambiental.....	2-200
2.3.5 Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de recursos naturales .....	2-206
2.3.6 Evaluación ambiental .....	2-215
2.3.7 Zonificación de manejo ambiental del proyecto .....	2-244
2.3.8 Planes y programas.....	2-249
2.3.9 Sistemas de información geográfica.....	2-268
2.3.10 Fechas de levantamiento de información.....	2-270
2.3.11 Razón social y equipo de profesionales participantes en el Estudio de Impacto Ambiental.....	2-276

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2-1. Permisos de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales .....	2-6
Tabla 2-2. Trazabilidad del trámite ante el Ministerio de Interior. ....	2-7
Tabla 2-3. Ubicación de los ecosistemas estratégicos y áreas ambientalmente sensibles respecto al trazado del proyecto. ....	2-10
Tabla 2-4. Títulos mineros vigentes en el área de influencia del proyecto.....	2-14
Tabla 2-5. Solicitudes de títulos mineros en el área de influencia del proyecto. ....	2-15
Tabla 2-6. Rangos de pendientes utilizados en la caracterización del área de influencia del medio abiótico. ....	2-26
Tabla 2-7. Categorías de sensibilidad para en análisis de las variables.....	2-29
Tabla 2-8. Categorías de sensibilidad por pendientes.....	2-30
Tabla 2-9. Características generales de las unidades geológicas del área de influencia abiótica. ....	2-31
Tabla 2-10. Categorías de sensibilidad por unidades geológicas.....	2-31
Tabla 2-11. Categorías de sensibilidad por unidades geomorfológicas.....	2-32
Tabla 2-12. Categorías de sensibilidad por coberturas de la tierra.....	2-32
Tabla 2-13. Características relevantes de las unidades hidrogeológicas. ....	2-34
Tabla 2-14. Categorías de sensibilidad por unidades hidrogeológicas. ....	2-35
Tabla 2-15. Categorías de sensibilidad por distancia a cuerpos de agua natural.....	2-35
Tabla 2-16. Categorías de susceptibilidad por procesos morfodinámicos .....	2-36
Tabla 2-17. Pesos designados a las variables .....	2-36
Tabla 2-18. Calificación de la precipitación .....	2-37
Tabla 2-19. Categorías de sensibilidad por amenaza sísmica. ....	2-37
Tabla 2-20. Procedimientos determinaciones fisicoquímicas en el suelo. ....	2-40
Tabla 2-21. Evaluación de la fertilidad de los suelos.....	2-41
Tabla 2-22. Clasificación de la fertilidad.....	2-42
Tabla 2-23. Factores de clasificación de uso del suelo y uso del suelo.....	2-43
Tabla 2-24. Rangos de pendiente y clases agrológicas. ....	2-45

Tabla 2-25.	Clasificación del índice de compacidad de Gravelius.....	2-49
Tabla 2-26.	Clasificación de pendientes.....	2-50
Tabla 2-27.	Clasificación de los patrones de drenaje.....	2-51
Tabla 2-28.	Denominación termal.....	2-61
Tabla 2-29.	Denominación por rangos de precipitación anual.....	2-61
Tabla 2-30.	Valores del coeficiente de escorrentía de referencia.....	2-69
Tabla 2-31.	Tipos de valle fluviales.....	2-73
Tabla 2-32.	Relación de encajonamiento.....	2-75
Tabla 2-33.	Grado de sinuosidad.....	2-76
Tabla 2-34.	Categorías del IRH.....	2-78
Tabla 2-35.	Categorías del índice de aridez.....	2-79
Tabla 2-36.	Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica.....	2-80
Tabla 2-37.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.....	2-81
Tabla 2-38.	Peso y valores ponderados para la metodología de Calidad de Agua....	2-84
Tabla 2-39.	Funciones correspondientes para cada parámetro.....	2-85
Tabla 2-40.	Rangos de ponderación para la calidad del agua.....	2-86
Tabla 2-41.	Escala de Clasificación de los ICO's.....	2-86
Tabla 2-42.	Clasificación índice ICOTRO.....	2-89
Tabla 2-43.	Ponderación de variables ICA-IDEAM.....	2-89
Tabla 2-44.	Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA-IDEAM.....	2-89
Tabla 2-45.	Escala de clasificación del IACAL.....	2-91
Tabla 2-46.	Categorías del IUA.....	2-93
Tabla 2-47.	Matriz Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).....	2-93
Tabla 2-48.	Clasificación de unidades hidrogeológicas de acuerdo a su capacidad específica.....	2-94
Tabla 2-49.	Valoración de los resultados del cálculo del NDVI.....	2-97
Tabla 2-50.	Variables y evaluación de zonas de recarga.....	2-98
Tabla 2-51.	Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto.....	2-99
Tabla 2-52.	Categorías de susceptibilidad para el análisis de las variables.....	2-100
Tabla 2-53.	Pesos asignados a las variables.....	2-101

Tabla 2-54.	Categorías de susceptibilidad geotécnica. ....	2-101
Tabla 2-55.	Localización geográfica de las estaciones monitoreo calidad del aire. .	2-108
Tabla 2-56.	Localización geográfica de los puntos de monitoreo de ruido ambiental. ....	2-110
Tabla 2-57.	Modelo fuentes de ruido según escenarios y capas ráster de salida. ....	2-112
Tabla 2-58.	Inicios de actividades empleados.....	2-115
Tabla 2-59.	Ecuaciones para el análisis dasométrico y de volumen con los datos obtenidos en campo.....	2-120
Tabla 2-60.	Ecuación Amplitud de categoría.....	2-122
Tabla 2-61.	Ecuación Índice de dispersión de Morisita. ....	2-122
Tabla 2-62.	Ecuación valores críticos de uniformidad y agrupamiento. ....	2-123
Tabla 2-63.	Ecuaciones de Diversidad Alfa.....	2-124
Tabla 2-64.	Ecuaciones de Diversidad Beta. ....	2-125
Tabla 2-65.	Ecuaciones para el análisis de la regeneración natural. ....	2-126
Tabla 2-66.	Categorías de tamaño para el análisis de la regeneración natural. ....	2-127
Tabla 2-67.	Ecuación para calcular el error de muestreo. ....	2-127
Tabla 2-68.	Ecuación para la estimación alométrica. ....	2-129
Tabla 2-69.	Criterios de selección de forófitos. ....	2-131
Tabla 2-70.	Ecuaciones de Diversidad Alfa.....	2-136
Tabla 2-71.	Ecuaciones de Diversidad Beta. ....	2-137
Tabla 2-72.	Campañas de muestreo fauna terrestre. ....	2-144
Tabla 2-73.	Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para anfibios y reptiles.....	2-148
Tabla 2-74.	Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para aves.....	2-150
Tabla 2-75.	Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para mamíferos. ....	2-154
Tabla 2-76.	Ecuaciones de Diversidad Alfa.....	2-155
Tabla 2-77.	Ecuaciones de Diversidad beta.....	2-156
Tabla 2-78.	Ubicación de las estaciones de muestreo hidrobiológico, en el área de influencia del proyecto. ....	2-159
Tabla 2-79.	Calificación de taxones para el índice biótico BMWP modificado y actualizado por Álvarez (2005). ....	2-166
Tabla 2-80.	Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP. ....	2-167

Tabla 2-81.	Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice ASPT. ....	2-167
Tabla 2-82.	Ecuaciones y descripciones de los índices ecológicos. ....	2-168
Tabla 2-83.	Marco normativo concerniente a la elaboración del EIA y el desarrollo del proceso de participación y socialización con las comunidades. ....	2-170
Tabla 2-84.	Grupos de interés para el proceso de participación y socialización con las comunidades. ....	2-177
Tabla 2-85.	Herramientas de convocatoria y divulgación de la información en el marco del proceso de participación. ....	2-178
Tabla 2-86.	Clasificación propuesta de escala visual. ....	2-187
Tabla 2-87.	Valoración de los atributos para la calidad visual. ....	2-188
Tabla 2-88.	Calificación de la calidad visual del área de influencia. ....	2-189
Tabla 2-89.	Aspectos para evaluar la fragilidad visual. ....	2-189
Tabla 2-90.	Clasificación de elementos discordantes y tamaño de la discordancia. ....	2-190
Tabla 2-91.	Clasificación de la correspondencia cromática. ....	2-190
Tabla 2-92.	Clasificación de la integridad escénica. ....	2-191
Tabla 2-93.	Análisis de estado y tendencia de los SSEE. ....	2-194
Tabla 2-94.	Nivel de dependencia de la comunidad con los SSEE. ....	2-198
Tabla 2-95.	Tendencia del estado del SE. ....	2-199
Tabla 2-96.	Nivel de dependencia del proyecto con los SSEE. ....	2-199
Tabla 2-97.	Rangos y categoría de sensibilidad. ....	2-202
Tabla 2-98.	Rangos de sensibilidad ambiental para la zonificación final. ....	2-205
Tabla 2-99.	Ocupaciones de Cauce proyectadas. ....	2-209
Tabla 2-100.	Ecuaciones para el análisis de datos dasométricos y de volumen con los datos recopilados en campo. ....	2-210
Tabla 2-101.	Criterios para la evaluación de los impactos. ....	2-216
Tabla 2-102.	Rangos de calificación y valoración de la importancia ambiental. ....	2-221
Tabla 2-103.	Títulos mineros vigentes en el área de influencia del proyecto. ....	2-223
Tabla 2-104.	Relación de impactos y métodos aplicados en la valoración económica. ....	2-237
Tabla 2-105.	Interpretación indicador RBC. ....	2-242
Tabla 2-106.	Interpretación Test del VPN. ....	2-242
Tabla 2-107.	Categorías de definición para Zonificación de Manejo Ambiental. ....	2-245

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

Tabla 2-108. Matriz de definición Áreas de manejo ambiental ..... 2-246

Tabla 2-109. Categorías de Zonificación de Manejo Ambiental ..... 2-246

Tabla 2-110. Calificación de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas..... 2-258

Tabla 2-111. Matriz de jerarquización del riesgo..... 2-263

Tabla 2-112. Escala de error permitido\* ..... 2-268

Tabla 2-113. Fechas o períodos de levantamiento de información. .... 2-270

Tabla 2-114. Fechas de reuniones de socialización con grupos de interés del área de influencia del proyecto. .... 2-271

Tabla 2-115. Profesionales que participaron en el Estudio de Impacto Ambiental. ... 2-276

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1. Puntos de inicio y llegada del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios. ....	2-2
Figura 2-2. Ecosistemas estratégicos y áreas ambientales sensibles en el área de influencia del proyecto. ....	2-9
Figura 2-3. Proyectos en el área de influencia. ....	2-12
Figura 2-4. Proyectos en el área de influencia a nivel regional.....	2-14
Figura 2-5. Títulos mineros y solicitudes de títulos mineros vigentes en el área de influencia.....	2-18
Figura 2-6. Esquema de jerarquización geomorfológica.....	2-28
Figura 2-7. Matriz de decisión de conflictos por uso del suelo.....	2-47
Figura 2-8. Tipos de drenaje en una cuenca. ....	2-52
Figura 2-9. Leyenda del mapa de zonificación climática. ....	2-62
Figura 2-10. Clasificación de la corriente a partir de su pendiente longitudinal, sección transversal y vista en planta.....	2-76
Figura 2-11. Clasificación de ríos.....	2-77
Figura 2-12. Esquemmatización de la curva de duración de caudales y los volúmenes para el cálculo del IRH.....	2-78
Figura 2-13. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica. ....	2-81
Figura 2-14. Identificación de puntos de agua.....	2-96
Figura 2-15. Cálculo de emisiones por fuentes lineales. ....	2-104
Figura 2-16. Estructura del modelo IVE. ....	2-107
Figura 2-17. Distribución espacial de las estaciones de monitoreo de calidad el aire.....	2-108
Figura 2-18. Localización de puntos de monitoreo de ruido ambiental. ....	2-110
Figura 2-19. Forma correcta de medir y marcar un fustal que posee dos reiteraciones por encima de los 1,3 m.....	2-118
Figura 2-20. Medición del CAP en diferentes situaciones: a) árboles rectos, normales y terreno plano; b) bifurcaciones bajo 1,3 m de altura en el fuste; c) árboles bifurcados sobre 1,3 m; d) árboles con defectos de altura de 1,3 m, e) árboles inclinados en terreno plano; f) árboles inclinados en terreno pendiente. ....	2-118

Figura 2-21.	Alturas a tener en cuenta para el registro de fustales.....	2-119
Figura 2-22.	Forma de medir los diámetros de copa. ....	2-119
Figura 2-23.	Estratificación de forófito (modificado de Johansson, 1974).....	2-132
Figura 2-24.	Muestreo de epífitas no vasculares (musgos, hepáticas y líquenes). ...	2-133
Figura 2-25.	Esquema de evaluación de briófitos y líquenes por parcela. ....	2-134
Figura 2-26.	Sitios de muestreo de fauna en el AI biótica del proyecto. ....	2-146
Figura 2-27.	Localización general de los puntos de muestreo hidrobiológico en el área de influencia biótica. ....	2-160
Figura 2-28.	Fases proceso de socialización de información del EIA. ....	2-176
Figura 2-29.	Formato ficha virtual plataforma Kobbo Toolbox. ....	2-184
Figura 2-30.	Unidad de análisis en la que se identificaron, cualificaron y analizaron los SSEE. ....	2-195
Figura 2-31.	Primera matriz WRI para priorización de SSEE relacionados con el proyecto. ....	2-197
Figura 2-32.	Segunda matriz WRI para priorización de SSEE relacionados con la comunidad. ....	2-198
Figura 2-33.	Diagramas causa-efecto de los impactos directos e indirectos. ....	2-225
Figura 2-34.	Métodos y herramientas para la evaluación de impactos acumulativos .....	2-229
Figura 2-35.	Metodologías para la valoración económica de impactos. ....	2-237
Figura 2-36.	Esquema metodológico Zonificación de Manejo Ambiental.....	2-244
Figura 2-37.	Resultado Zonificación de Manejo Ambiental.....	2-248
Figura 2-38.	Metodología del análisis de riesgos. ....	2-262
Figura 2-39.	Procesos de Gestión de Riesgos. ....	2-265

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO\_2\_1\_RESPUESTA\_ANLA\_NDAA

ANEXO\_2\_2\_SELECCION\_ALT

[ANEXO\\_2\\_3\\_COMUNICACION\\_INICIO](#)

ANEXO\_2\_4\_MININTERIOR

ANEXO\_2\_5\_ICANH

ANEXO\_2\_6\_PERMISO\_RECOLECCIÓN

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

## 2 GENERALIDADES

### 2.1 ANTECEDENTES

Con el fin de asegurar el correcto abastecimiento de la demanda eléctrica en la región del Suroeste antioqueño y el occidente del país, la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME en el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2017 – 2031, adoptado mediante Resolución del Ministerio de Minas y Energía 40790 de julio 31 de 2018, modificada mediante la Resolución del Ministerio de Minas y Energía 40193 de 10 de julio de 2020, estableció las obras de expansión en el Sistema de Transmisión Nacional (STN), necesarias para la atención de la demanda en el mediano y largo plazo del país; entre las cuales se identificó el proyecto de Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.

Por lo anterior, mediante la Convocatoria Pública UPME 03 – 2021 se solicitaron ofertas para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las obras asociadas al proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios. La UPME adjudicó a Interconexión eléctrica S.A. E.S.P. (ISA) la construcción y operación del proyecto, posteriormente, ISA entregó el desarrollo del proyecto a su filial ISA INTERCOLOMBIA.

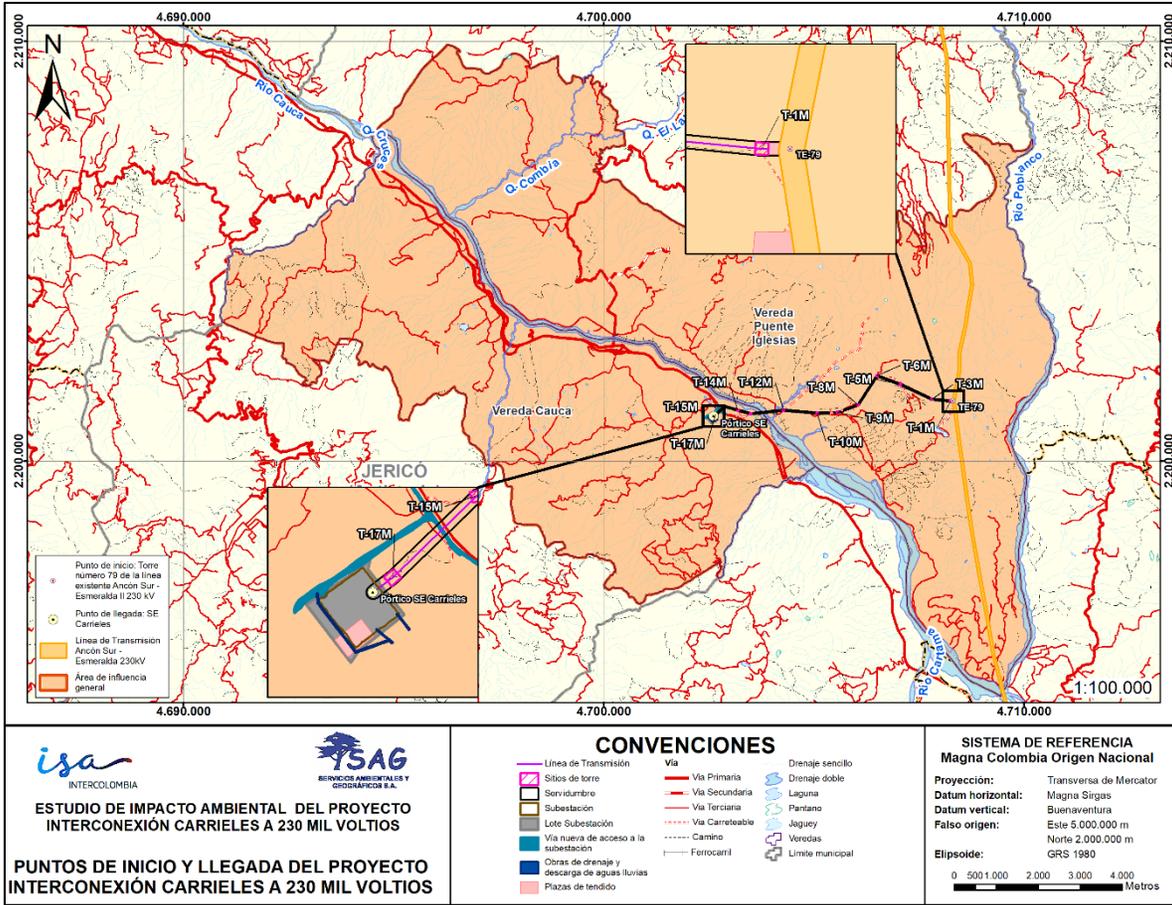
En dicha convocatoria se definió el alcance del proyecto, el cual consiste en el diseño, adquisición de los suministros, construcción, pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de las obras asociadas al proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, el cual comprende la nueva subestación Carrieles 230 mil voltios en configuración interruptor y medio, una línea doble circuito o dos líneas independientes a 230 mil voltios con una longitud aproximada de **6,36 km** entre la nueva subestación Carrieles 230 mil voltios y la línea existente Ancón Sur - Esmeralda II 230 kV, los elementos y adecuaciones tanto eléctricas como físicas durante la construcción, operación y mantenimiento de las obras garantizando su compatibilidad con la infraestructura existente, así como los espacios de reserva a nivel del Sistema de Transmisión Nacional -STN y el Sistema de Transmisión Regional – STR.

El proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, se localizará en los municipios de Jericó y Fredonia en el departamento de Antioquía, se iniciará una vez se cuente con la Licencia Ambiental otorgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y se estima que la vida útil del proyecto será de 25 años.

De esta manera el proyecto conformará la conexión entre la línea existente Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV, propiedad de INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P., con los siguientes puntos de inicio y llegada.

- Punto de inicio: Torre número 79 de la línea existente Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV, ubicada en las coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional Este: 4.708.315,42 Norte: 2.201.429,23.
- Punto de llegada: Futura subestación Carrieles 230 mil voltios.

En la [Figura 2-1](#) se presenta se presenta la conectividad del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, indicando la distribución espacial de los puntos de inicio y llegada.



**Figura 2-1. Puntos de inicio y llegada del proyecto Interconexión Carriels a 230 mil voltios.**

Fuente: SAG, 2024

La empresa consultora Servicios Ambientales y Geográficos S.A. (SAG) fue contratada por ISA INTERCOLOMBIA para realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto para tramitar su licencia ambiental.

### 2.1.1 Justificación

Como resultado de la Convocatoria Pública 03 – 2021, que busca asegurar el correcto abastecimiento de la demanda eléctrica en la región del Suroeste antioqueño y el occidente del país mediante las obras de expansión en el Sistema de Transmisión Nacional (STN) necesarias para la atención de la demanda en el mediano y largo plazo, la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME adjudicó a la empresa INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P - ISA, la gestión requerida para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de la infraestructura de transmisión eléctrica del proyecto

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, el cual permitirá atender el crecimiento de la demanda de energía, así como mejorar la confiabilidad y seguridad del servicio público en el Suroeste de Antioquia.

De esta forma, el proyecto busca brindar una mayor confiabilidad al STN, reducir potenciales riesgos en la desatención de la demanda futura y así brindar mejores capacidades a la región del Suroeste antioqueño para que el Operador de Red designado gestione las fases de distribución y comercialización de la energía eléctrica en óptimas condiciones.

Es importante resaltar, como se mencionó anteriormente, que este proyecto hace parte de la planeación sectorial del país, y es una de las estrategias para asegurar el correcto abastecimiento de la demanda eléctrica en la región del Suroeste antioqueño y el occidente del país, mediante las obras de expansión en el Sistema de Transmisión Nacional (STN) necesarias para la atención de la demanda en el mediano y largo plazo. En un escenario sin proyecto, la región podría sufrir las siguientes dificultades:

- Imposibilidad de alimentar la demanda futura en la región del Suroeste antioqueño, especialmente ligada a proyectos de tipo industrial, agroindustrial, comercial y residencial que se tienen proyectados en los próximos 20 años.
- Dificultad para garantizar la prestación del suministro continuo de energía, lo que, a su vez, impactaría negativamente el crecimiento económico de la región del Suroeste Antioqueño.
- Racionamientos de cargas en las subestaciones Amaga, Fredonia, Titiribí, Angelópolis, Tarso, La Pintada, Jericó, Támesis, Hispania, Bolombolo, Bolívar, Andes, Betulia, Concordia, Tapartó, Valparaíso y Urao.

## **2.1.2 Estudios e investigaciones previas**

### **2.1.2.1 Convocatoria Pública UPME 03 – 2021**

Para presentarse a la Convocatoria Pública UPME 03 – 2021, INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA, realizó una revisión de información secundaria relevante para la formulación de estudios de prediseño y prefactibilidad ambiental.

Dicho estudio contó con un análisis de restricciones ambientales del área de desarrollo del proyecto, donde los principales hallazgos permitieron identificar los posibles corredores de alternativas del proyecto, evaluar su factibilidad en relación con los determinantes de carácter ambiental enmarcados en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Cartografía Básica de fuentes oficiales como la del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el portal geográfico de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), el Sistema ÁGIL de ANLA, Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), las categorías de manejo que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), declaratorias de áreas de tipo privado (Reservas Naturales de la Sociedad Civil), Reservas

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Forestales Protectoras, Parques Naturales Regionales, Distritos de Manejo Integrado, así como estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica de orden internacional como Sitios Ramsar, Reserva de Biósfera, Área Internacional para la Conservación de Aves (AICAS); entre otras fuentes secundarias de información, que permitieron analizar variables para los medios abiótico, biótico y socioeconómico.

### **2.1.2.2 Solicitudes y trámites administrativos**

#### 2.1.2.2.1 Trámites ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)

##### *2.1.2.2.1.1 Pronunciamiento sobre necesidad o no de DAA*

Dando cumplimiento al artículo 2.2.2.3.4.2 del Decreto Sectorial 1076 de 2015, se elaboró un estudio sobre la necesidad o no de elaboración y presentación del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) a partir de información secundaria, aspectos abióticos, bióticos y socioeconómicos relevantes en el área de influencia del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, el cual fue radicado con número 2021149051-1-000 del 21 de julio de 2021 ante la autoridad ambiental, ANLA.

El pronunciamiento de la ANLA con número de radicación 202188005738-3 ISA del 12 de agosto del 2021 (ver ANEXO\_2\_1\_RESPUESTA\_ANLA\_NDAA), consideró, de acuerdo con las características del proyecto, y a los resultados de la evaluación de la información presentada para cada uno de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, la necesidad de presentar ante la misma autoridad el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) para la construcción y operación del proyecto, siguiendo los lineamientos establecidos en los términos de referencia TdR-11 acogidos mediante Resolución 2183 del 23 de diciembre de 2016, la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales adoptada por el MADS mediante la Resolución 1402 de 2018 y modificada por la Resolución 0114 de 2019, la Resolución 1107 de 2019 y la Resolución 629 de 2020, y con base en las características ambientales regionales y locales en donde se pretende desarrollar el proyecto. Adicionalmente en el ANEXO\_2\_1\_RESPUESTA\_ANLA\_NDAA, se presenta la relación de las consideraciones adicionales de la ANLA para la presentación del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.

##### *2.1.2.2.1.2 Evaluación del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA)*

El DAA del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios se elaboró de acuerdo con los lineamientos establecidos en los siguientes documentos:

- Términos de Referencia para la Elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) en Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-11 acogidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) mediante la Resolución 2183 de 2016.
- La Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales adoptada por el MADS mediante la Resolución 1402 de 2018, modificada por la Resolución 0114 de 2019, la Resolución 1107 de 2019 y la Resolución 629 de 2020.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Guía de Participación Ciudadana para el Licenciamiento Ambiental emitida por la ANLA en julio de 2018.
- Resolución 2182 de 23 de diciembre de 2016 por la cual se modificó y consolidó el modelo de almacenamiento geográfico.
- Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA emitido por dicha Autoridad en enero de 2024.
- El pronunciamiento de la ANLA sobre la necesidad de presentar ante la misma autoridad el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) (ver ANEXO\_2\_1\_RESPUESTA\_ANLA\_NDAA).

Mediante el radicado 202288002355-1 del 14 de junio de 2022, ISA - INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A E.S.P. presentó a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA el Diagnostico Ambiental de Alternativas (DAA) para el proyecto, incluyendo la documentación complementaria establecida en el artículo 2.2.2.2.3.6.1 del Decreto 1076 de 2015.

Una vez evaluada toda la información radicada por parte INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA, la Autoridad expidió el Auto 05440 del 15 de julio de 2022, en el que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en su Artículo Primero selecciona la Alternativa 1 para el desarrollo del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios de la sociedad INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA, de conformidad con lo expuesto en la parte motiva del acto administrativo (Ver ANEXO\_2\_2\_SELECCION\_ALT).

El Auto 05440 del 15 de julio de 2022, la ANLA en su Artículo Segundo solicita a INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA tener en cuenta para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) los Términos de Referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA para proyectos de sistemas de transmisión eléctrica TdR-17, acogidos mediante la Resolución 0075 del 18 de enero de 2018, el contenido básico establecido en el artículo 2.2.2.3.5.1 del Decreto 1076 de 2015, así como la estimación de las compensaciones del componente Biótico, con base en el Manual de Compensaciones Ambientales del Componente Biótico, adoptado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante Resolución 256 del 22 de febrero de 2018, o aquellas que modifiquen, revoquen o sustituyan las normas anteriormente citadas.

#### *2.1.2.2.1.3 Comunicado de inicio de actividades de muestreo del medio biótico*

Para la recolección de la información primaria de carácter biótico necesaria para el desarrollo de línea base del proyecto se realizaron muestreos biológicos de flora, fauna y ecosistemas acuáticos para el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios; para lo cual se presentó la comunicación de inicio de actividades en campo en la zona autorizada para el proyecto en los municipios de Fredonia y Jericó, Antioquia.

La colecta de muestras botánicas estuvo amparada bajo los permisos de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales otorgados por la Autoridad Nacional de Licencias

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Ambientales (ANLA) mediante las resoluciones que se relacionan en la Tabla 2-1, donde también se detalla las fechas en las que se comunicó el inicio de actividades ante esta Autoridad Ambiental, informando que se desarrollaría una salida de muestreo para el componente biótico (vegetación terrestre, epífitas, aves, mamíferos, herpetos, macrófitas, macroinvertebrados acuáticos, fitoplancton, zooplancton, peces y perifiton) en el área de influencia definida para el proyecto; ubicada en el departamento de Antioquia en los municipios de Fredonia y Jericó (ver ANEXO\_2\_3\_COMUNICACION\_INICIO).

**Tabla 2-1. Permisos de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales**

Permiso	Fechas del inicio actividades	Grupos
Resolución 0644 del 07 de abril de 2021	11/05/2022 - 17/09/2022	Vegetación terrestre, epífitas, aves, mamíferos, herpetos, macrófitas, macroinvertebrados acuáticos, fitoplancton, zooplancton, peces y perifiton.
	16/11/2022 - 11/05/2023	
Resolución 01061 del 16 de junio de 2020	08/06/2023 - 06/07/2023	Vegetación terrestre, epífitas, aves, mamíferos, herpetos, macrófitas, macroinvertebrados acuáticos, fitoplancton, zooplancton, peces y perifiton.
Resolución 1154 del 06 de junio de 2023	31/08/2023 - 03/12/2023	Vegetación terrestre, epífitas, aves, mamíferos, herpetos, macrófitas, macroinvertebrados acuáticos, fitoplancton, zooplancton, peces y perifiton.
	04/07/2024 – 09/08/2024	Vegetación terrestre, epífitas, fauna

Fuente: SAG, 2024

#### 2.1.2.2.1.4 Trámite ante el Ministerio de Interior

Considerando lo establecido en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17 de 2018, se definió, identificó y delimitó el área de influencia del proyecto, con base en la cual se solicitó ante la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior, el trámite de determinación de procedencia y oportunidad de consulta previa para la ejecución de proyectos, obras o actividades, para el proyecto Interconexión Carreiles a 230 mil voltios; la mencionada autoridad se pronunció sobre procedencia o no de consulta previa para proyectos, obras o actividades en dicha área concluyendo que no procede la consulta previa con comunidades étnicas (ver ANEXO\_2\_4\_MININTERIOR). En el ANEXO\_2\_4\_MININTERIOR se incluye la subcarpeta SHAPES\_AI que corresponde a las coordenadas del área de influencia del proyecto, con base en las cuales la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior certificó con el número de radicado 202488000499-3 y resolución número ST-0198 de 21 Feb 2024 la no presencia

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

ni afectación con comunidades negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras para el Proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios. En la Tabla 2-2 se incluye la trazabilidad del trámite:

**Tabla 2-2. Trazabilidad del trámite ante el Ministerio de Interior.**

Fecha	Tema	Radicado DANCP
15/09/2023	ISA INTERCOLOMBIA radica Solicitud de procedencia y oportunidad de Consulta Previa para el proyecto de Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.	Radicado 2023-1-004044-068038 Id: 199730
6/10/2023	DANCP realiza Solicitud de información adicional para el "PROYECTO DE INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS".	Radicado 2023-2-002410-045960 Id: 211838
26/10/2023	ISA INTERCOLOMBIA remite información adicional solicitada el 6/10/23	Radicado 2023-1-004044-080992 Id: 223245
29/11/2023	DANCP realiza Citación a reunión virtual – revisión aspectos técnicos del "PROYECTO DE INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS".	Radicado 2023-2-002410-056759 Id: 242990
12/12/2023	Reunión de Información Adicional - entre ISA INTERCOLOMBIA Y DANCP	N/A
18/12/2023	ISA INTERCOLOMBIA remite información adicional solicitada en la reunión virtual realizada el 12/12/23	ID: 253493
29/01/2024	Información sobre el estado del trámite tras la respuesta a la solicitud de información adicional	Radicado: 2024-1-004044-005831 - Documento con IdControl: 272251
21/02/2024	RESOLUCIÓN NÚMERO ST-0198	

*Fuente: ISA INTERCOLOMBIA, 2024*

#### 2.1.2.2.1.5 Trámite ante el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH)

Mediante la Resolución No 2049 del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), del 19 de diciembre de 2022, el ICANH aprobó el registro del Programa de Arqueología Preventiva para el Proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios (ver ANEXO\_2\_5\_ICANH).

Se realizó la prospección arqueológica, se encuentra en curso la fase de laboratorio y formación del Informe Final de Prospección y Formulación del Plan de Manejo Arqueológico a radicar ante el ICANH.

#### 2.1.2.2.1.6 Trámite ante la la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA)

El 08 de noviembre de 2023 se radicó ante la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) el trámite de sustracción temporal y definitiva de las áreas

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

ubicadas al interior de la estrategia de conservación in situ denominada Zona Ribereña del Río Cauca, mediante el radicado 160-COE2311-46387. Posteriormente la Corporación dio inicio al trámite por medio del Auto de Inicio: 160-ADM2312-15110, notificado el 25 de enero de 2024.

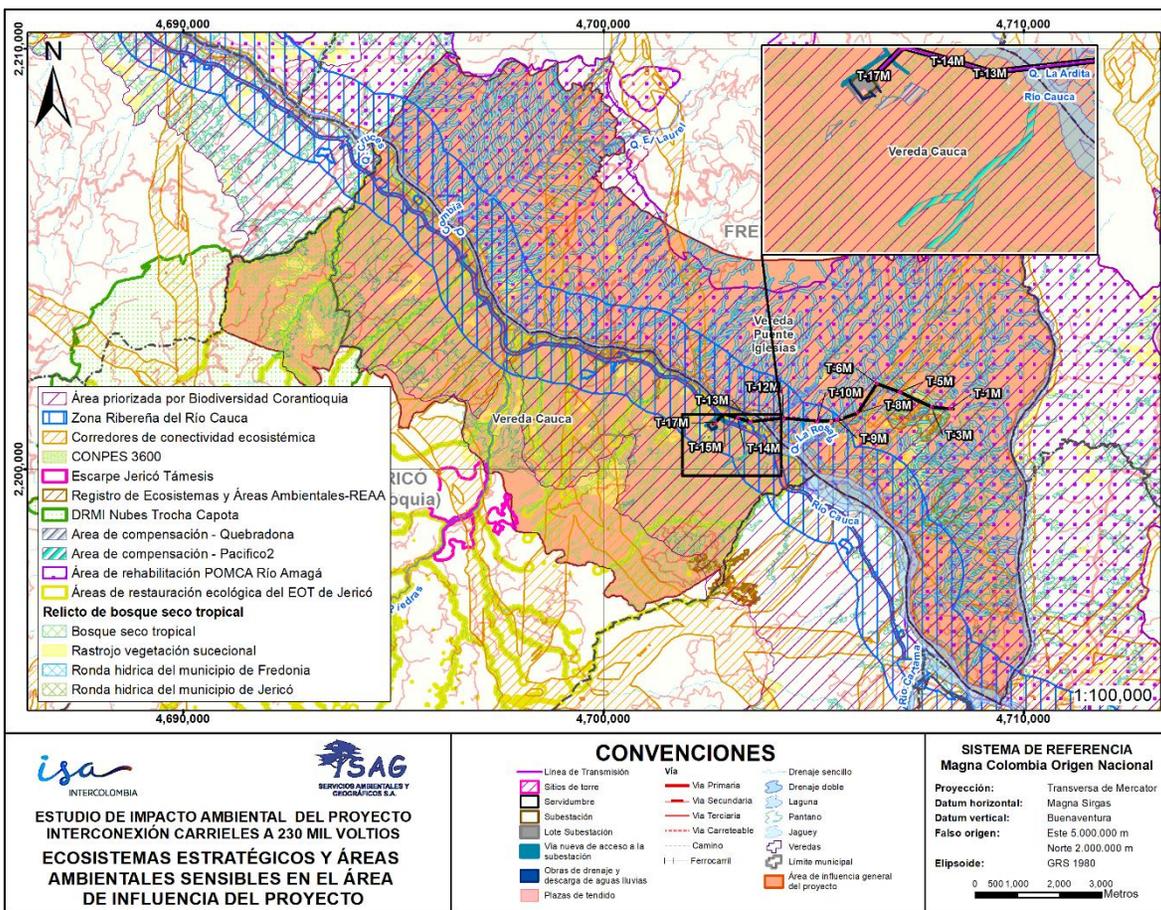
### **2.1.3 Identificación de áreas SINAP y SIRAP, ecosistemas estratégicos y áreas ambientales sensibles**

La identificación de ecosistemas estratégicos y áreas sensibles en el área de influencia, se realizó de acuerdo con la consulta de información contemplada por las Autoridades Ambientales y organizaciones de orden nacional, regional y local, así como de todos aquellos convenios y convenciones e iniciativas que han facilitado la conservación y la utilización sostenible mediante este tipo de ecosistemas, en fuentes como en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), el Sistema para el Análisis Geográfico de Información en el Licenciamiento Ambiental (AGIL) de la ANLA, la información del Visor Geográfico de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), la Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Sistema de Información de Alertas Tempranas Tremarcos, el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), las categorías de manejo que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP), el Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) y el Sistema Local de Áreas Protegidas (SILAP), declaratorias de áreas de tipo privado (Reservas Naturales de la Sociedad Civil), Reservas Forestales Protectoras, Parques Naturales Regionales, Distritos de Manejo Integrado, Distritos de Conservación de Suelos y Áreas de Recreación (Ley 2ª de 1959, Decreto-Ley 2811 de 1974 y Ley 99 de 1993). Así como estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica de orden internacional como Sitios Ramsar, Reserva de Biósfera, Área Internacional para la Conservación de Aves (AICAS), Patrimonio de la Humanidad, Plan de Ordenamiento Forestal (POF) de CORANTIOQUIA y las áreas ecológicas de interés ambiental declaradas en los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) de los municipios que hacen parte del área de influencia, Jericó y Fredonia, así como el POMCA del río Amagá. Según lo anterior, se revisaron las siguientes capas geográficas:

- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Fredonia.
- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Jericó.
- POMCA Directos al río Cauca – Río Amagá y Q. Sinafaná, adoptado mediante Resolución CORANTIOQUIA 040-RES1811-6715 del 2018.
- Plan de Ordenamiento Forestal.
- Determinantes ambientales definidas por CORANTIOQUIA.
- Áreas establecidas para la ejecución de compensaciones por procesos de licenciamiento o permisos, de acuerdo con las consultas oficiales realizadas en ANLA y CORANTIOQUIA.

- Áreas con prioridades de conservación contempladas por Parques Nacionales Naturales.

A continuación, y según la revisión anterior, en la Figura 2-2 se presentan los ecosistemas estratégicos y áreas ambientalmente sensibles identificadas en el área de influencia y se describen a continuación.



**Figura 2-2. Ecosistemas estratégicos y áreas ambientales sensibles en el área de influencia del proyecto.**

Fuente: SAG, 2024

- El Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DRMI) Nubes Trocha Capota, declarada por CORANTIOQUIA mediante el Acuerdo 352 de 2010, “con el fin de adelantar programas de restauración, conservación o preservación de los recursos naturales renovables y del ambiente, así como

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

*ordenar, planificar y regular el uso y manejo de los mismos y las actividades económicas que allí se desarrollan, dentro de los criterios del desarrollo sostenible”<sup>1</sup>.*

- Las áreas prioritarias de compensación (CONPES 3680), hacen parte del SINAP y están registradas en el RUNAP.
- El Escarpe Jericó – Támesis, esta área ha sido priorizada por la Corporación para la conservación de la biodiversidad. En la Figura 2-2 se presenta la distribución espacial del Escarpe Jericó - Támesis en el área de influencia del proyecto.

La descripción de los demás ecosistemas estratégicos se presenta en el Capítulo 5.2 Caracterización del Medio Biótico – Flora, específicamente en el numeral 5.2.1.4.

De estos ecosistemas estratégicos y áreas ambientales sensibles presentes en el área de influencia del proyecto, seis (6) presentan superposición con el trazado o área de intervención del proyecto, a saber, la Reserva Natural de Recursos Naturales la Zona Ribereña del Río Cauca, relictos de Bosque Seco Tropical, las áreas del Registro único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA), las áreas del POMCA del río Amaga, las áreas para la ejecución de compensaciones por procesos de licenciamiento o permisos y las Áreas de restauración ecológica del EOT de Jericó (ver Tabla 2-3).

**Tabla 2-3. Ubicación de los ecosistemas estratégicos y áreas ambientalmente sensibles respecto al trazado del proyecto.**

<b>Ecosistema estratégico y áreas ambientalmente sensibles</b>	<b>Área de influencia del proyecto</b>	<b>Superposición con el trazado del proyecto</b>
Reserva Natural de Recursos Naturales la Zona Ribereña del Río Cauca	X	X
Relictos de Bosque Seco Tropical	X	X
Corredores de conectividad ecosistémica	X	X
DRMI Nubes Trocha Capota	X	
Área prioritaria para la conservación (CONPES 3680)	X	
Escarpe Jericó – Támesis	X	
Registro único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA)	X	X
Áreas para la ejecución de compensaciones por procesos de licenciamiento o permisos	Área de compensación de Pacífico 2 reportada por CORANTIOQUIA	X

<sup>1</sup> CORANTIOQUIA. Acuerdo del Consejo Directivo No. Acuerdo 352 de 2010. Por el cual se declara, reserva y alindera, como distrito de manejo integrado de los recursos naturales renovables el área denominada nubes – trocha – capota, y se toman otras determinaciones. Medellín. 1996. 3 p.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Ecosistema estratégico y áreas ambientalmente sensibles		Área de influencia del proyecto	Superposición con el trazado del proyecto
	Área de compensación de Quebradona reportada por CORANTIOQUIA	X	X
Áreas del POMCA del río Amagá		X	X
Áreas de restauración ecológica del EOT de Jericó		X	X

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.1.4 Interrelación con planes, programas y proyectos de interés en el área de influencia

La identificación de proyectos en ejecución y proyectados en el área de influencia del proyecto se realizó de acuerdo con la consulta de información suministrada por la ANLA y CORANTIOQUIA, así como la información disponible en el Sistema para el Análisis Geográfico de Información en el Licenciamiento Ambiental (AGIL) de la ANLA y en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). A continuación, se listan los proyectos identificados a nivel nacional en el área de influencia.

- Proyecto Sistema de Transporte de Hidrocarburos Poliducto Sebastopol – Medellín – Cartago

En el costado oriental del área de influencia se ubica el poliducto Sebastopol-Medellín-Cartago del operador CENIT Logística y Transporte de Hidrocarburos S.A.S. (ver Figura 2-3) con expediente ANLA LAM0520, sin embargo, dicho poliducto no se superpone con el área de intervención del proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios.

- Autopista Conexión Pacifico 2

En el área de influencia se ubica la Autopista Conexión Pacifico 2 (vía La Pintada – Bolombolo), actualmente en ejecución y operación. Esta vía primaria de cuarta generación (4G) se encuentra localizada a la margen izquierda del Río Cauca y comunica La Pintada con Bolombolo (ver Figura 2-3) y hace parte del primer grupo de concesiones viales de 4ª Generación de las denominadas Autopistas de la Prosperidad; incluye la construcción, mantenimiento y operación de la nueva vía La Pintada – Bolombolo y la rehabilitación, mantenimiento y la operación de la vía La Pintada – Primavera”<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Concesión La Pintada. Autopista Conexión Pacifico 2 – Quienes somos. Disponible en: <http://www.concesionlapintada.com/caracteristicas/>. Consulta: octubre de 2021.

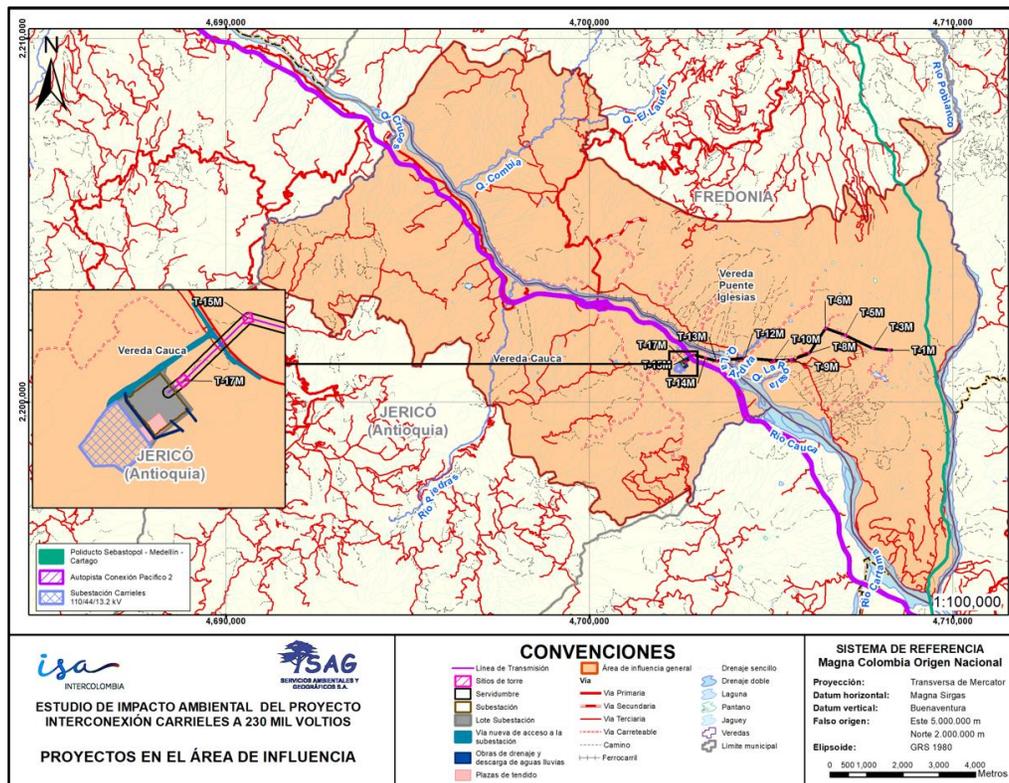
Esta vía será utilizada como acceso principal a las obras y de esta se desprenderá una nueva vía de acceso interna a la subestación Carrieles como se detalla en el Capítulo 3. Descripción del proyecto.

- Proyecto Minera de Cobre Quebradona

En inmediaciones del área donde se construirá la Subestación Carrieles a 230 mil voltios, en la margen izquierda del río Cauca, se proyectaba la infraestructura del proyecto Minera de Cobre Quebradona, propiedad de AngloGold Ashanti y del operador Minera de cobre Quebradona, proyecto asociado al expediente LAV0001-00-2020 y que al momento de elaboración del presente EIA se encuentra archivado por la Autoridad Ambiental competente ANLA, no obstante, en el área de influencia genera expectativas, por ende, se considera en el presente estudio.

- Línea de transmisión Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV

La línea de transmisión Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV del operador INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA a la cual se tiene proyectada la conexión con el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, en la torre de retención (torre 79).



**Figura 2-3. Proyectos en el área de influencia.**

Fuente: SAG, 2024 con información de AGIL y SIAC

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

A nivel regional, en el área de influencia se encuentra la licencia ambiental otorgada por CORANTIOQUIA a un proyecto multipropósito energía y acueducto, con concesión de aguas, pero sin desarrollarse en la zona y sin presentar superposición con el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, se cuenta con la ubicación de los sitios de captación, generación y planta de tratamiento, como se presenta en la Figura 2-4.

- Proyecto Multipropósito Agua Fresca (energía y acueducto)

En el área de influencia se ubica el Proyecto Multipropósito Agua Fresca, con generación de energía y aprovechamiento de las aguas turbinadas para usos doméstico, riego y pecuario (energía y acueducto) sobre el río Piedras (ver Figura 2-4), este proyecto es propiedad de la Sociedad Energía Del Rio Piedras S.A.S. E.S.P., con expediente CORANTIOQUIA CA3-2001-155.

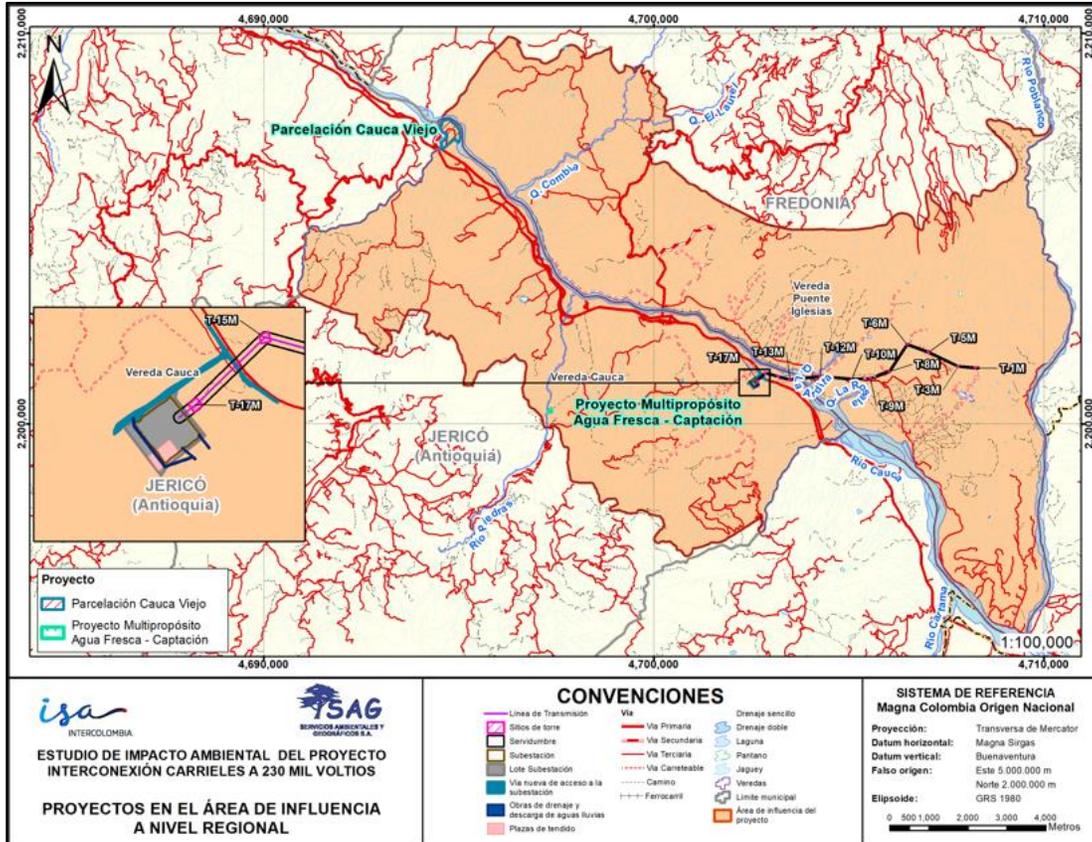
- Parcelación Pueblo Cauca Viejo P.H

El pueblo Cauca Viejo fue fundado en 1998, actualmente opera como una urbanización privada, residencial y turística, conformada por el Hotel De Cauca Viejo Fundadores y alrededor de 190 casas privadas. Esta parcelación no se superpone con el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.

- Proyecto EPM Subestación Carrieles 110/44/13.2 kV

Proyecto de transmisión de energía propiedad de EPM, cuenta con licencia ambiental otorgada por CORANTIOQUIA mediante Resolución N°040-RES2312-6821 del 21 diciembre 2023, y comprende la construcción de:

- i. La conexión de la Subestación Carrieles con autotransformadores de 60 MVA – 220/110 kV.
- ii. Una configuración de barra principal más transferencia en 110 kV, instalando un transformador 45/60 MVA - 110/44 kV y una configuración de barra sencilla en 44 kV, además de un transformador 16/20 MVA - 44/13.2 kV.
- iii. Edificio de control y la instalación de nuevas celdas 13.2 kV
- iv. La conexión a las líneas de transmisión hacia Amagá e Hispania a 110 kV para conformar los corredores Carrieles - Amagá y Carrieles – Hispania a 110 kV. También, la conexión a las líneas de transmisión hacia Jericó 44 kV y Fredonia a 44 kV.



**Figura 2-4. Proyectos en el área de influencia a nivel regional.**

Fuente: SAG, 2024, con información de CORANTIOQUIA, 2021

- Títulos mineros y solicitudes de títulos mineros

En el área de influencia del proyecto se identificaron los títulos mineros vigentes y solicitudes de títulos mineros relacionados en la Tabla 2-4 y Tabla 2-5, respectivamente.

**Tabla 2-4. Títulos mineros vigentes en el área de influencia del proyecto.**

Código de expediente	Estado	Modalidad	Solicitante	Minerales	Fecha de expedición	Fecha de expiración
SB0-10141	Activo	Autorización temporal	(54920) Concesión La Pintada S.A.S	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, recebo	23/02/2018	22/02/2023 <sup>1</sup>

 <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.: 3	2024-08-09

Código de expediente	Estado	Modalidad	Solicitante	Minerales	Fecha de expedición	Fecha de expiración
G5896005	Activo	Contrato de concesión (L 685)	(46397) Empresa Asociativa De Areneros del Río Poblano, (54995) Luz Stella Bedoya Toro, (83995) Wilson Aguirre Gaviria	Arenas, arenas y gravas silíceas	24/09/2010	23/09/2040
H5810005	Activo	Contrato de concesión (L 685)	(44935) Fundación Berta Arias de Botero	Anhidrita, antracita, arcilla común, arcillas, arcillas especiales, arcillas refractarias, arenas, arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, areniscas, asfalto natural, azufre, bauxita, bentonita, calcita, c	3/12/2003	2/12/2033

<sup>1</sup> Según la información de la Agencia Nacional de Minería (ANM), 2024, este título minero se encuentra activo.

Fuente: SAG, 2024 con información de la Agencia Nacional de Minería (ANM), 2022

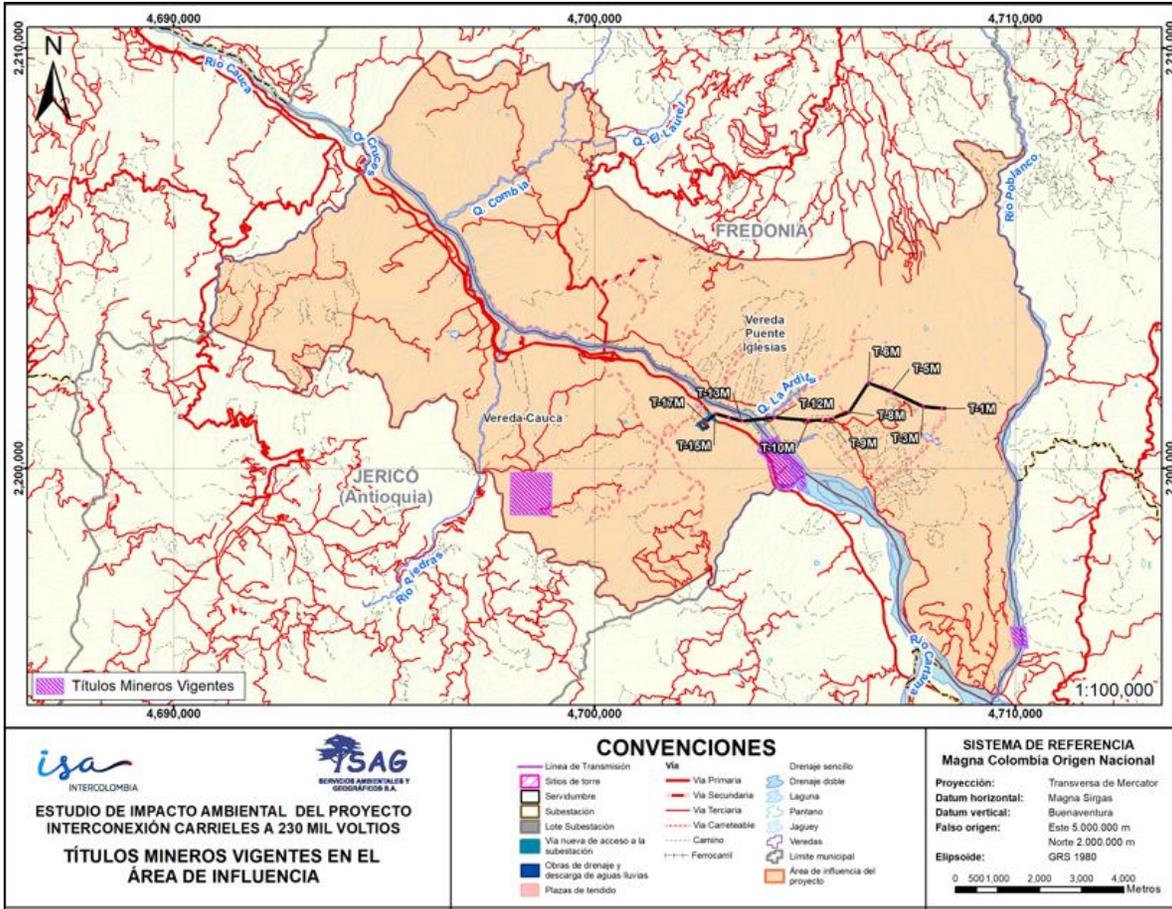
**Tabla 2-5. Solicitudes de títulos mineros en el área de influencia del proyecto.**

ID Solicitud Título Minero	Fase	Mineral Explotado	Solicitante
503129	Exploración	Gravas (de Río)	Cantera Orozco S.A.S.
QDE-08011	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Plata y Sus Concentrados, Minerales De Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y sus Concentrados	Nacional de Minerales y Metales S.A.S.
500867	Exploración	Anhidrita, Arcillas, Arenas, Arenas (de río), Areniscas, Asfalto Natural, Azufre, Bentonita, Calcita, Caolin, Carbón, Concentrados Minerales De Iridio, Corindon, Cuarzo,	Minera de Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.

ID Solicitud Título Minero	Fase	Mineral Explotado	Solicitante
		Dolomita, Esmeralda, Feldespatos, Fluorita, Grafito, Granate, Granito, Gravas, Grav	
504313	Exploración	Arenas, Arenas (de río), Gravas (de río), Recebo	Compañía Minera La Magdalena
KFA-08031	-	Minerales de Oro y Sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y sus Concentrados	Escorpión S.O.M
TK7-08031	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales De Plata y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y Sus Concentrados	Minera de Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.
502667	Exploración	Anhidrita, Arcillas, Arenas, Arenas (de río), Areniscas, Asfalto Natural, Azufre, Bentonita, Calcita, Caolín, Carbón, Concentrados Minerales de Iridio, Corindon, Cuarzo, Dolomita, Esmeralda, Feldespatos, Fluorita, Grafito, Granate, Granito, Gravas, Grav	Minera de Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.
504319	Exploración	Arenas (de río), Gravas (de río), recebo	Agregados Mutatá S.A.S
503086	Exploración	Minerales de Cobre y Sus Concentrados, Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales De Plata y Sus Concentrados	Eaton Gold S.A.S.
505798	Exploración	Minerales de Cobre y Sus Concentrados, Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales De Plata y sus Concentrados	Eaton Gold S.A.S.
TK8-08021	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Plata y sus Concentrados, Minerales De Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y sus Concentrados	Minera de Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.
507112	Exploración	Anhidrita, Arcillas, Arenas, Arenas (de río), Areniscas, Asfalto Natural, Azufre, Bentonita, Calcita, Caolin, Concentrados Minerales de Iridio, Corindon, Cuarzo, Dolomita, Feldespatos, Fluorita, Grafito, Granate, Granito, Gravas, Gravas (de río), Magnesio	Minera De Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.

ID Solicitud Título Minero	Fase	Mineral Explotado	Solicitante
JLH-16219x	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y sus Concentrados	El Trapiche S.O.M.
JLH-16217x	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y sus Concentrados	El Trapiche S.O.M.
ARE-506264	-	Arenas, Gravas, Recebo	Didimo Armando Mongui Pérez, Jorge Antonio Cruz Hernández, Spo S.A.S
SIP-14211	-	Arenas	New Mining S.A.S., Obras Civiles y Minería de Colombia S.A. Mincivil
QF5-15571	-	Arenas (de rio), Gravas (de rio), Recebo	Pavimentar S.A.
JLH-16215x	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y Sus Concentrados	El Trapiche S.O.M.
TK7-08021	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Plata y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y Sus Concentrados	Minera de Cobre Quebradona S.A.S. Beneficio e Interés Colectivo – Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C.
KFA-08034x	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y Sus Concentrados	Escorpión S.O.M
LHJ-15053x	-	Minerales de Oro y sus Concentrados, Minerales de Platino (Incluye Platino, Paladio, Rutenio, Rodio, Osmio) y Sus Concentrados	Anglogold Ashanti Colombia S.A.S.
503478	Exploración	Arenas (de rio), Gravas (de rio)	Logiexpo S.A.S
504229	Exploración	Arenas, Gravas	Transportadora Gaviria S.A.S.
LJB-08151	-	Arcillas	Comercial Porvenir S.A.S
ARE-507421	-	Arenas (de rio), Gravas (de rio)	Carlos Alberto Sanchez, German de Jesús Acevedo David, Harbey Antonio Mejía Medina, Orlando de Jesus Ochoa Cortes, Oscar Carrasquilla
504334	Exploración	Gravas (de rio)	Figueroa Inversiones S.A.S.

Fuente: SAG, 2024 con información de la Agencia Nacional de Minería (ANM), 2022



**Figura 2-5. Títulos mineros y solicitudes de títulos mineros vigentes en el área de influencia.**

Fuente: SAG, 2024 con información de la Agencia Nacional de Minería (ANM), 2022

## 2.2 ALCANCES

La base fundamental para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto Interconexión Carreiles a 230 mil voltios, fue el cumplimiento de la legislación ambiental Colombiana aplicable y se partió del análisis, interpretación e implementación de los siguientes documentos:

- Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17 de 2018 acogidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) mediante la Resolución 0075 del 18 de enero de 2018.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 Rev. No.: 3   2024-08-09
---	--	---

- Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, adoptada por el MADS y la ANLA mediante Resolución 1402 del 25 de julio de 2018, modificada por la Resolución 0114 de 2019, la Resolución 1107 de 2019 y la Resolución 629 de 2020.
- Guía de Participación Ciudadana para el Licenciamiento Ambiental emitida por la ANLA en julio de 2018.
- Resolución 2182 de 23 de diciembre de 2016 por la cual se modificó y consolidó el modelo de almacenamiento geográfico.
- Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA emitido por dicha Autoridad en enero de 2024.

De esta manera, en el presente EIA se identifican y se evalúan los posibles impactos ambientales, tanto negativos como positivos, que generará la construcción, operación y mantenimiento, y desmantelamiento del proyecto Interconexión Carreiles a 230 mil voltios, lo cual se realizará a partir de la caracterización de los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico relacionados con la ejecución del proyecto, y se definirán las medidas de prevención, corrección, mitigación y compensación necesarias, constituyéndose en el instrumento para la toma de decisiones y planificación ambiental.

Para dar cumplimiento de los objetivos y las determinantes establecidas en los términos de referencia y la legislación ambiental, se estructura un documento compuesto por los siguientes capítulos:

- **Resumen ejecutivo:** este capítulo desarrolla una síntesis del proyecto, presentando las características relevantes de las áreas de influencia, las obras y acciones básicas de la de la construcción y operación, el método de evaluación ambiental seleccionado, la jerarquización y cuantificación de los impactos ambientales significativos, la zonificación ambiental y de manejo, las necesidades de aprovechamiento de recursos con sus características primordiales, los principales riesgos identificados y se presenta una síntesis del Plan de Manejo Ambiental. Por último, se hace mención específica del costo total del proyecto y del Plan de Manejo Ambiental (PMA), así como las actividades a seguir en la fase de desmantelamiento y abandono.
- **Capítulo 1. Objetivos:** en este capítulo definen los objetivos generales y específicos del proyecto, teniendo en cuenta el alcance del Estudio de Impacto Ambiental.
- **Capítulo 2. Generalidades:** en este aparte se relacionan los antecedentes, alcances, limitaciones o restricciones del EIA, metodologías empleadas para la elaboración del EIA y finalmente se incluye la razón social del consultor encargado de la elaboración del EIA y los profesionales que participaron.
- **Capítulo 3. Descripción del proyecto:** se indica la localización del proyecto, sus principales características técnicas, se describen las actividades pertinentes para cada una de las fases (pre-construcción, construcción, operación y mantenimiento, y desmantelamiento y abandono), los insumos requeridos para la ejecución y operación del proyecto, manejo integral de material sobrante y residuos, se detallan los alcances,

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 Rev. No.: 3   2024-08-09
---	--	---

la duración de las obras (cronograma de ejecución), el costo total del proyecto y los requerimientos de recursos naturales, la estructura de la empresa y la instancia responsable de la gestión ambiental. Así mismo, se presenta la infraestructura asociada como campamentos, almacenamiento de materiales, así como método constructivo, tipo y número de estructuras, entre otros.

- **Capítulo 4. Área de influencia:** en este capítulo se realiza la definición, identificación y delimitación del área de influencia considerando los medios, como división general del ambiente y máxima categoría de abordaje, teniendo en cuenta componentes y grupos de componentes que constituyen los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, como unidades de análisis. El área de influencia del proyecto se define, identifica y delimita, a partir de la integración de las áreas de influencia por medio, las actividades y diseño del proyecto, las unidades de análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y la determinación preliminar de los potenciales impactos generados por las actividades del proyecto en todas sus fases, corresponde a la misma que fue caracterizada y considerada para la evaluación de impactos y el diseño de medidas de manejo.
- **Capítulo 5. Caracterización del área de influencia:** en este aparte se caracterizan los aspectos de los medios abiótico, biótico y socioeconómico de las áreas de influencia, a partir de información primaria y secundaria disponible, debidamente soportada. Se caracteriza el paisaje en términos de elementos, unidades del paisaje y su interacción con el proyecto, percepción del paisaje, sitios de interés paisajístico, descripción dentro del componente paisajístico, percepción y valoración del paisaje por parte de los grupos de interés, así como planes, proyectos, programas y similares con proyección de uso, gestión y protección del paisaje. Asimismo, se identifican, miden y analizan los servicios ecosistémicos (SSEE) que están generando beneficios en las áreas de influencia.
- **Capítulo 6. Zonificación ambiental:** se presenta la zonificación ambiental de las áreas de influencia, realizada con base en la información de la caracterización ambiental y la legislación vigente, mediante el análisis integral de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, a partir de la sensibilidad ambiental del área, en su condición sin proyecto.
- **Capítulo 7. Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de recursos naturales:** en este aparte se realiza la cuantificación de los recursos naturales que serán utilizados y, aprovechados por el proyecto en sus diferentes fases, incluyendo los que requieran o no permisos, concesiones o autorizaciones.
- **Capítulo 8. Evaluación ambiental:** se presenta la evaluación ambiental en dos escenarios: sin proyecto y con proyecto, en el escenario con proyecto se realiza la identificación y evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de los potenciales impactos ambientales del proyecto, la valoración económica de los impactos más relevantes y la identificación de los conflictos ambientales.
- **Capítulo 9. Zonificación de manejo ambiental:** en este capítulo se presenta la zonificación de manejo ambiental del proyecto, realizada a partir de la zonificación ambiental y la evaluación de impactos, como base para identificar los lineamientos a considerar en el

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

diseño de las medidas de manejo, así como de seguimiento y monitoreo, en concordancia con las características del proyecto, los potenciales impactos ambientales asociados, la sensibilidad de las áreas de influencia y la normatividad aplicable.

- Capítulo 10. Planes y programas: se presenta el Plan de Manejo Ambiental (PMA) del proyecto, que comprende los Programas de Manejo Ambiental, el Plan de Seguimiento y Monitoreo, el Plan de Gestión del Riesgo, el Plan de Desmantelamiento y Abandono, el Plan de Inversión del 1% y el Plan de Compensación por Pérdida de Biodiversidad.

De otra parte, con relación a las limitaciones o restricciones del EIA, éstas hacen referencia principalmente a la información de carácter institucional desactualizada disponible en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Fredonia adoptado por el Decreto 341 de 2000, la manera en que se abordó este vacío, consistió en que la información fue validada con el levantamiento y análisis de información primaria.

## 2.3 METODOLOGÍA

### 2.3.1 Descripción del proyecto

Se realizó la descripción detallada del proyecto, señalando su objetivo, localización, diseño y características técnicas, especificando el cronograma estimado para el desarrollo del proyecto, las particularidades de cada una de sus fases, la infraestructura existente, los insumos que requiere, el manejo y forma de disposición de los residuos peligrosos y no peligrosos así como de los materiales que genere, los costos estimados y la estructura organizacional planteada para su ejecución, entre otros, como insumo para la toma de decisiones por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) sobre la viabilidad ambiental del proyecto de acuerdo con las características ambientales del lugar en el que se plantea su desarrollo, la identificación y valoración de impactos ambientales, la definición del área de influencia, el uso y aprovechamiento de recursos naturales, la formulación de planes y demás componentes del estudio de impacto ambiental (EIA).

### 2.3.2 Área de influencia

La definición, identificación y delimitación del área de influencia (AI) del proyecto Interconexión Carreiles a 230 mil voltios; se realizó de acuerdo con los lineamientos de los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptados mediante la Resolución 0075 de 2018, la normatividad vigente aplicable al proyecto, la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales publicada por la ANLA en agosto de 2018, el Listado de Impactos Ambientales Específicos en el Marco del Licenciamiento Ambiental emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en julio de 2020 y el documento Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA emitido por dicha Autoridad en enero de 2024.

De esta manera, en la definición, identificación y delimitación del AI del proyecto, se consideraron los medios como división general del ambiente y máxima categoría de abordaje, y se tuvieron en cuenta los componentes, relevantes para la delimitación del área

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

de influencia, que constituyen los medios abiótico, biótico y socioeconómico como unidades de análisis. Asimismo, se partió de la localización, diseño, actividades del proyecto en cada una de sus fases y la manifestación de los potenciales impactos asociados; posteriormente con la caracterización y evaluación ambiental se delimitaron las áreas de influencia definitivas por medio, y finalmente, el área de influencia del proyecto, como se describe en los párrafos siguientes.

El proceso metodológico para la delimitación del área de influencia se constituyó de una fase previa y una fase de análisis, conformadas a su vez por tres fases: Pre-campo, campo y análisis de información o fase pos-campo. Durante las fases previa y de análisis, se recopiló información primaria y secundaria para el área de influencia preliminar, con el fin de conocer las características actuales del ambiente, predecir las variaciones de dichas características durante el desarrollo y operación del proyecto, delimitar el área de influencia definitiva en función de unidades de análisis y a partir de dichas áreas obtener el área de influencia del proyecto. A continuación, se presenta el detalle de la metodología desarrollada.

- Etapa pre-campo o preliminar

Con base en la localización del proyecto se consultó información cartográfica secundaria referente a cada uno de los componentes relevantes para la delimitación del área de influencia, como la cartografía base a escala 1:10.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el mapa de coberturas de la tierra generado a partir de imágenes satelitales disponibles para el proyecto, información cartográfica oficial disponible respecto a la división político-administrativa del área de influencia y fuentes oficiales de orden local, regional y nacional teniendo en cuenta la localización del proyecto, así como los instrumentos de ordenamiento territorial: EOT de los municipios de Fredonia y Jericó, entre otros, además de la información obtenida del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) como fase previa para delimitar el área de influencia preliminar.

Con base en el diseño, actividades del proyecto en sus diferentes fases, vías de acceso y requerimientos de uso y aprovechamiento de recursos naturales, se identificaron las unidades de análisis por componente donde posiblemente se materializarán los impactos significativos asociados al proyecto y se delimitó un área de influencia del proyecto preliminar.

- Etapa de campo

Una vez definida el área de influencia preliminar, se realizó la verificación de la información secundaria consultada y la establecida en las imágenes satelitales, haciendo recorridos definidos, estableciendo o ratificando puntos de interés para el levantamiento de información y muestreos.

Se desarrolló un trabajo de campo a nivel interdisciplinario, de acuerdo con la información y requerimientos técnicos del proyecto, haciendo el levantamiento de información primaria para cada uno de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, donde se realizó con las comunidades un ejercicio de validación de la información cartográfica identificada en la etapa de pre – campo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Se realizaron talleres de cartografía social con la participación de representantes de las unidades territoriales con las que se relaciona el proyecto e identificadas en el área de influencia preliminar para precisar la información requerida para definir el área de influencia definitiva.

También se llevaron a cabo talleres de identificación de impactos con las comunidades, propietarios de predios a intervenir y autoridades del área de influencia preliminar, donde se recogieron sus apreciaciones, opiniones y percepciones respecto a los impactos identificados durante la elaboración del EIA, como insumo para el estudio.

- Etapa pos-campo

A partir de la interpretación de resultados del trabajo de campo, la caracterización ambiental y los impactos significativos resultantes de la evaluación ambiental, mediante un proceso iterativo, se definieron las áreas de influencia definitivas por medio, considerando los escenarios más críticos de manifestación y trascendencia de los potenciales impactos ambientales identificados.

- Área de influencia del proyecto

Finalmente, la integración de las áreas de influencia definitivas permitió obtener el área de influencia del proyecto. Dicho proceso se soportó en información geográfica, resultados de las modelaciones, entre otros. Tanto el área de influencia del proyecto, como las áreas de influencia definitivas obtenidas para cada medio, fueron cartografiadas a escala 1:25.000.

### **2.3.3 Caracterización del área de influencia**

#### **2.3.3.1 Medio abiótico**

##### **2.3.3.1.1 Geología**

En este numeral se encuentra la metodología con la cual se desarrolló el componente de geología en el área de influencia del proyecto y el mapa geológico a escala 1:25.000, indicando cómo se realizó la caracterización de las unidades litológicas y rasgos estructurales regionales y locales en el área de influencia abiótica del proyecto. Lo anterior, con el fin de establecer las posibles limitaciones que las características geológicas puedan ofrecer en las fases de construcción y operación del proyecto.

El desarrollo del componente geológico comprendió tres fases de trabajo: Una fase preliminar (o precampo), una de trabajo de campo 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 fotointerpretación y en el modelo de elevación digital (DEM 12.5).

- Estratigrafía/Caracterización litológica
  - Fase preliminar

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva y análisis de la memoria y plancha geológica del área de influencia, publicada por el Servicio Geológico Colombiano, estudios realizados por particulares y/o entidades públicas, EOT's, POMCA's, cartografía base y temática disponible, entre otros.
- A partir de los documentos y cartografía identificada, se llevó a cabo el ajuste en la escala de las unides geológicas regionales que fueron descritas de acuerdo a la Memoria Explicativa<sup>3</sup>, Reseña Explicativa<sup>4</sup> y Plancha 166 del municipio de Jericó, a escala 1:100.000 de Ingeominas, hoy Servicio Geológico Colombiano.
- Se tomo como base la información presentada en el Diagnostico Ambiental de Alternativas -DAA- del presente proyecto.

– Fase de campo

Inicialmente se establecieron puntos de control de campo, los cuales se identificaron a partir de las imágenes satelitales disponibles para el proyecto y la cartografía base y temática; estos puntos se seleccionaron con base en los siguientes criterios:

- Unidades geológicas: Se consideró mínimo un punto de control para cada una de las unidades geológicas presentes en el área de influencia abiótica. El profesional en campo de acuerdo a las condiciones geológicas que se presentan, determinó si dicho punto establecido cumple con los requerimientos para la obtención de información, y en caso contrario se desplazó hacia otra zona, con el fin de levantar y obtener en campo la mayor información posible de cada una de las unidades aflorantes en el área de influencia abiótica.
- Perfiles de meteorización de suelos: esta información se recolectó en libreta de campo, con el correspondiente registro fotográfico y georreferenciación de la información.
- Columnas estratigráficas: Para los depósitos cuaternarios (aluviales o de vertiente) presentes en el área de influencia abiótica, se realizó levantamiento de información de la columna, en libreta de campo con el correspondiente registro fotográfico y georreferenciación.

– Fase pos-campo

En esta fase se procesó y analizó la información obtenida en campo para la consolidación del informe de los aspectos geológicos, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- La delimitación de las unidades geológicas se realizó a una escala de 1:25.000 a partir de la información levantada en los recorridos de campo, el mapa geológico base, imágenes de sensores remotos, los drenajes de la cartografía base y el modelo de sombras.

<sup>3</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa Geología y Geoquímica Escala 1:100.000 Plancha 166 Jericó. Bogotá, 1980.

<sup>4</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Reseña Explicativa del Mapa Geológico Preliminar Escala 1:100000 Plancha 166 Jericó. Bogotá, 1983.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- La interpretación y definición de las unidades geológicas del área de influencia se llevó cabo con la ayuda del software ArcGIS versión 10.8. Inicialmente se georreferenciaron las planchas utilizadas con el fin de tomar como base la información de fuentes oficiales; de esta forma se realizó una primera distribución de polígonos a través de la observación de los elementos cartográficos de mayor detalle, siempre ajustando a un valor de escala de 1:25.000 o más detallada con ayuda del software ArcGIS versión 10.8.
- Además, por medio de la información recolectada durante el trabajo de campo, se complementó la información relacionada con las rocas, perfiles de suelos, descripción macroscópica de las rocas y la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa asociada por la competencia de los materiales.
- Geología estructural/Tectónica

Para la identificación y descripción del marco tectónico y estructural a nivel regional y local se utilizó la información del Atlas de Amenaza Sísmica y Mapa de Fallas Activas del Servicio Geológico Colombiano (1998)<sup>5</sup>, dicha información se complementó con el Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Funcional 3 del Proyecto Autopista Conexión Pacífico 2, el cual fue elaborado por Concesión La Pintada – Autopista Conexión Pacífico 2 (2016)<sup>6</sup>, además se sustentó en el documento de Diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Fredonia<sup>7</sup> y del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Amagá elaborado por CORANTIOQUIA<sup>8</sup>.

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, igualmente manifestaciones de falla como zonas de roca triturada, salbanda, brechas, poliedros de cizalladura, etc.; también, rasgos indicadores de actividad neotectónica (desplazamiento de terrazas y en general efectos de fallas sobre depósitos cuaternarios).

Lo que se obtiene al final, es la elaboración del mapa de estructuras: a partir del mapa geológico a escala 1:25.000, donde se ajustó el mapa de fallas de la zona para que coincida según los contactos, topografía, etc.

- Sísmicidad

Para la descripción de la sísmicidad del área de influencia, se consultó el catálogo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), en un buffer de 25 km alrededor del área

<sup>5</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Atlas de Amenaza Sísmica de Colombia. Mapa de Fallas Activas de Colombia. Escala 1:1000000. Plancha 8. Bogotá, 1998.

<sup>6</sup> CONCESIÓN LA PINTADA – AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 2. Estudio de Impacto Ambiental Unidad Funcional 3 del Proyecto Autopista Conexión Pacífico 2, enero 2016.

<sup>7</sup> ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE FREDONIA. Diagnóstico Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de Fredonia. Fredonia, 2000.

<sup>8</sup> CORANTIOQUIA. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Amagá. Medellín, 2009.

de influencia abiótica del proyecto, así como también se llevó a cabo una revisión del marco geológico y tectónico, a partir de información secundaria enfocada a la actividad de fallas activas y la sismicidad regional.

Adicionalmente, se consultó la web del Servicio Geológico Colombiano para identificar en que zona de categoría de amenaza símica se encuentra el área de influencia del proyecto y realizar así, un análisis de sismicidad histórica y la posible relación con eventos de remoción en masa.

### 2.3.3.1.2 Geomorfología

El proceso metodológico para realizar la clasificación geomorfológica y el mapa geomorfológico a escala 1:25.000 para el EIA, se desarrolló a través de la caracterización de las formas de terreno, su origen, su evolución y los procesos morfodinámicos (restrictivos y/o amenaza para el proyecto), que actualmente están modelando el paisaje en el área de influencia abiótica. Este numeral se elaboró en tres fases de trabajo:

- Fase preliminar

Inicialmente para la caracterización geomorfológica se realizó la zonificación del área por pendientes, siguiendo los rangos propuestos por la ANLA<sup>9</sup> para la elaboración de estudios ambientales: 0-1%, 1-3%, 3-7%, 7-12%, 12-25%, 25-50%, 50-75% y mayores a 75%, como se presenta en la columna izquierda de la Tabla 2-6.

**Tabla 2-6. Rangos de pendientes utilizados en la caracterización del área de influencia del medio abiótico.**

<b>Rango (%)</b>	<b>Descripción de la pendiente</b>
0-1	A nivel
1-3	Ligeramente plana
3-7	Ligeramente inclinada
7-12	Moderadamente inclinada
12-25	Fuertemente inclinada
25-50	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada
50-75	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada
75-100	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada
>100	Totalmente escarpada

*Fuente: SAG, 2024*

Durante esta fase se realizó el trabajo de interpretación de imágenes satelitales, ortofotos y en el modelo de elevación digital (DEM 12.5), con el fin de ajustar las unidades geomorfológicas identificadas y los procesos morfodinámicos presentes en el área que eventualmente pudieran representar una limitante para la construcción de las obras del Proyecto. Con base en esta información se establecieron los puntos de control a lo largo del área de influencia abiótica del proyecto según los siguientes criterios:

<sup>9</sup> ANLA. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Bogotá, 2018

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Procesos morfodinámicos de tipo deslizamientos, erosión concentrada, surcos y cárcavas, y erosión fluvial.
- Unidades geomorfológicas.

- Fase de campo

Durante esta fase se visitaron los puntos de control establecidos en la fase preliminar y se identificaron las condiciones de estabilidad. Igualmente, durante los recorridos de campo se identificaron puntos de control adicionales.

De forma complementaria durante el trabajo de campo se realizaron observaciones referentes a la presencia de cuerpos de agua (ríos, lagunas, ciénagas, etc.) y a la incidencia de los mismos en el desarrollo de procesos morfodinámicos (erosión fluvial, zonas húmedas, altura del nivel freático, etc.).

Igualmente, previo a la salida de campo se elaboró como insumo el Mapa Geomorfológico del área de influencia abiótica del proyecto, el cual fue ajustado durante el trabajo de campo.

- Fase pos-campo

En esta fase se organizó la información registrada en mapas preliminares e imágenes interpretadas. Con la anterior información se ajustó, el mapa geomorfológico en escala 1:25.000 y el mapa de procesos morfodinámicos a escala 1:10.000 según lo establecido en los términos de referencia del EIA, además del mapa de susceptibilidad por la ocurrencia de procesos erosivos o de remoción en masa.

El marco de referencia que se utilizó para clasificar y caracterizar las unidades geomorfológicas en el mapa temático de Geomorfología, es el sistema de clasificación propuesto por el INGEOMINAS (ITC), el cual establece los criterios base para la descripción de las unidades (Ver Figura 2-1).

- Morfología y morfometría: Criterio descriptivo de tipo paisajístico, así como los elementos de condición paramétrica, dentro de este aspecto se incluyen variables tales como gradientes topográficos y formas relativas.
- Morfogénesis: Criterio que implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir las causas y procesos que contribuyeron a generar las geoformas y paisajes actuales.
- Morfodinámica: Analiza los procesos agradacionales (depósitos) y degradacionales (erosión y remoción en masa), que se estén presentando en las unidades de paisaje.



**Figura 2-6. Esquema de jerarquización geomorfológica.**

*Fuente: SGC y UIS, 2015*

Según la anterior jerarquización y teniendo en cuenta la escala de presentación del EIA, se definieron las unidades geomorfológicas, partiendo la información del Servicio Geológico Colombiano (SGC), antes Ingeominas, específicamente de la Plancha Geomorfológica 166<sup>10</sup>, a escala 1:100.000 y la correspondiente memoria explicativa<sup>11</sup>, realizados en el año 2014.

Esta información fue complementada con la cartografía geomorfológica y el anexo correspondiente a la plancha 166-Jericó<sup>12</sup> elaborado por CORANTIOQUIA escala 1:100.000, en el año 2002 para la jurisdicción.

Adicionalmente, se revisaron algunos proyectos ubicados en cercanías al área de influencia del medio abiótico, específicamente, el estudio del POMCA del río Amagá<sup>13</sup> para la zona.

- Análisis multitemporal de procesos morfodinámicos

<sup>10</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>11</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>12</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>13</sup> CORANTIOQUIA. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuencia del Río Amagá - Municipios de Caldas, Amagá, Angelópolis, Heliconia y Armenia Mantequilla. Medellín, 2009.

Partiendo de sensores remotos de diferentes periodos de tiempo, se realizó el análisis multitemporal a escala 1:10.000 de procesos morfodinámicos con su respectivo mapa del área del proyecto, se analizaron; las imágenes satelitales ImaSatDet11012022, ImaSatDet11292020 y ImaSatDet01012015 obtenida para los años 2022, 2020 y 2015 respectivamente.

Dentro del análisis de procesos morfodinámicos se tuvo en cuenta la observación de procesos morfodinámicos en campo.

- Susceptibilidad por la ocurrencia a procesos erosivos y de remoción en masa

Para el área de influencia abiótica, las variables seleccionadas para la susceptibilidad por la ocurrencia a procesos erosivos y de remoción en masa fueron las siguientes: pendiente, unidad geológica, amenaza sísmica, unidad geomorfológica, precipitaciones, coberturas de la tierra, densidad de la red de drenajes 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 profesional o equipo que realiza 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 versión 10.8.

La Tabla 2-7 muestra las categorías y valores de sensibilidad considerados para calificar las variables ambientales.

**Tabla 2-7. Categorías de sensibilidad para en análisis de las variables.**

Valor	Categorías de sensibilidad
1	Muy baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy alta

*Fuente: SAG, 2024*

- 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>14</sup>.

La Tabla 2-8 contiene los rangos de pendientes establecidos y la calificación de sensibilidad por esta variable.

**Tabla 2-8. 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*

- 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 2-9 se presentan algunas características de las unidades geológicas que afloran en el área de influencia abiótica 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.

<sup>14</sup> ANLA. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Op.Cit.p.62

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**Tabla 2-9. Características generales de las unidades geológicas del área de influencia abiótica.**

Unidad Geológica	Código	Composición
Formación Amagá. Miembro Superior	Ngas	De la información geológica <sup>15</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 (40-50%) de láminas de materia orgánica carbonosa y carbón.
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..." <sup>16</sup>

*Fuente: SAG, 2024*

En la Tabla 2-10 se presentan las categorías de sensibilidad por unidades geológicas que se contemplan para el área de influencia abiótica.

**Tabla 2-10. Categorías de sensibilidad por unidades geológicas.**

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

*Fuente: SAG, 2024*

- Unidades geomorfológicas

<sup>15</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.

<sup>16</sup> INTEGRAL S.A., op. cit., pp.406-407.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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.

En la Tabla 2-11 se presentan los valores de sensibilidad asignados a las diferentes unidades geomorfológicas del área de influencia del medio abiótico.

**Tabla 2-11. 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*

- Coberturas de la tierra

El desarrollo de fenómenos de remoción en masa y fenómenos de inestabilidad está relacionada con la cobertura de la tierra, en función del grado de intervención al que ha sido sometida un área determinada; en general, en las zonas de bosque con todas sus variedades (de galería y ripario, fragmentado, etc.), de vegetación secundaria o en transición, de cuerpos de agua naturales y en las zonas con cobertura arbórea, los suelos son más estables y menos susceptibles a la degradación; en contraste, las zonas de cultivos, de pastos limpios y los suelos desnudos presentan una alta sensibilidad a ser degradados o lavados por el agua, bien sea por la ocurrencia de fenómenos naturales (precipitaciones, vendavales, etc.) o antrópicos (específicamente bajo condiciones de conflictos de uso del suelo); igualmente del tipo de desarrollo urbanístico y de infraestructura vial se puede derivar condiciones de sensibilidad geotécnica, específicas para una zona determinada.

En la Tabla 2-12 se presentan y agrupan de acuerdo con el grado de sensibilidad, las coberturas de la tierra del área de influencia del medio abiótico.

**Tabla 2-12. 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

Cobertura	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Vegetación secundaria o en transición		Moderada
Bosque fragmentado		
Plantación forestal		
Cultivos arbóreos		
Cultivos arbustivos	3	Moderada
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
Mosaico de pastos con espacios naturales		
Pastos arbolados		
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		
Tejido urbano discontinuo	4	Alta
Mosaico de pastos y cultivos		
Cultivos permanentes arbóreos		
Tejido urbano continuo		
Pastos limpios		
Pastos enmalezados	5	Muy Alta
Zonas arenosas naturales		
Tierras desnudas y degradadas		

*Fuente: SAG, 2024*

- 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 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 2-13 se presentan algunas características relevantes de las unidades hidrogeológicas identificadas en función de la sensibilidad en el área de influencia abiótica; para mayor claridad se remite al lector, al capítulo 5.1 caracterización abiótica en el numeral Hidrogeología, de donde se extrajo la información.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**Tabla 2-13. Características relevantes de las unidades hidrogeológicas.**

Unidad Hidrogeológica	Características
UH-A1	<p>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.</p> <p>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.</p>
UH-A4	<p>Unida geológica: Representada por la unidad de Aluviones Recientes (Qal) de las quebradas La Tuntuna al oeste del área de influencia y dos afluentes de la quebrada La Ardita; conformados por bloques, gravas, arenas y limos.</p> <p>Se presume que pueden formar acuíferos locales, baja productividad, porosidad primaria, poco espesor (5m, probablemente).</p>
UH-B4	<p>Unidades geológicas: Miembro Superior de la Amagá (Ngas),</p> <p>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.</p>
UH-C1	<p>Unidades geológicas: Depósitos de vertiente (Qdv) y Formación Amagá (Ngas).</p> <p>Características hidrogeológicas:</p> <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 como un acuitardo debido a su capacidad para almacenar y dificultad para transmitir.</li> <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 en el área de influencia abiótica.</li> </ul>

*Fuente: SAG, 2024*

En la Tabla 2-14 se presentan las categorías de sensibilidad para las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia abiótica, de acuerdo con los parámetros de la tabla anterior.

**Tabla 2-14. 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

- 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 2-15 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 2-15. Categorías de sensibilidad por distancia a cuerpos de agua natural**

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

- 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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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 2-16).

**Tabla 2-16. 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
Área sin procesos morfodinámicos	1	Muy baja

*Fuente: SAG, 2024*

- 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 (geológicas)
- 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 2-17. 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*

- Factores detonantes

- 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>17</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>18</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 2-18).

**Tabla 2-18. Calificación de la precipitación.**

Precipitación promedio (mm/año)	Factor detonante precipitación	
	Categoría	Sensibilidad
Menos de 1600	Muy baja	1
1600-2100	Baja	2
2100-2600	Media	3
2600-3200	Alta	4
>3200	Muy alta	5

Fuente: SAG, 2024

- 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 2-19 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 2-19. Categorías de sensibilidad por amenaza sísmica.**

Amenaza sísmica	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Baja	2	Baja
Media	3	Moderada

<sup>17</sup> SUAREZ, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1998.

<sup>18</sup> IDEAM, IAvH, IIAP, INVEMAR y SINCHI (Eds). Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia, Bogotá, 2007.

Amenaza sísmica	Sensibilidad	
	Valor	Categoría
Alta	4	Alta
Muy alta	5	Muy alta

*Fuente: SAG, 2024*

- 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
- 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

### 2.3.3.1.3 Suelos y Usos del Suelo

#### 2.3.3.1.3.1 Fases de caracterización

La caracterización de los suelos del área de influencia para el proyecto, se realizó siguiendo tres (3) fases fundamentales: Preparatoria, campo y determinación de uso actual, potencial y conflictos del suelo. A continuación, se describe la metodología:

- Fase preliminar

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 Rev. No.: 3    2024-08-09
---	--	--

Para caracterizar los suelos del área de influencia del proyecto, en primera instancia, se utilizó la metodología propuesta por Villota<sup>19</sup> -Clasificación fisiográfica del terreno- y se cruzará con la información geomorfológica, las unidades climáticas, las coberturas del suelo y la fisiografía de la zona; además, se revisó la información secundaria disponible en el Estudio General de Suelos y zonificación de tierras del Departamento de Antioquia<sup>20</sup>, para definir las unidades cartográficas presentes en el área de influencia a nivel de asociación, consociación y complejo.

Una vez sistematizada la información obtenida de la revisión bibliográfica descrita en el párrafo anterior, cruzándola con el área de influencia y las áreas de intervención por obras del proyecto, se seleccionaron los sitios de muestreo por cada Unidad Cartografía del Suelo (UCS) identificadas, para realizar un reconocimiento de suelos detallado.

Durante el muestreo en cada sitio seleccionado, se describió un perfil típico para cada unidad cartográfica (asociación, consociación, grupo indeterminado).

- Fase de campo

El trabajo global de las actividades de campo, fue conformado por la planificación y realización del muestreo del suelo, análisis de perfil del suelo por medio de apertura de calicata, descripción de los pedones y el análisis de laboratorio de las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los horizontes del perfil de las UCS presentes en el área de influencia abiótica, para la posterior identificación del Uso actual, potencial y conflicto del suelo, a continuación, se relacionan los principales aspectos de cada uno de ellos.

- Toma de muestra y análisis de perfil modal:

Para cada una de las unidades de suelos identificadas, se seleccionó un sitio de muestreo representativo, asociado a un lugar de intervención directa del proyecto. En el cual se describió el perfil mediante la excavación de una calicata de 1 x 1 x 1 m (1m<sup>3</sup>), de acuerdo con las características del sitio y se tomó, entre otra, la siguiente información de campo para cada uno de los horizontes: Textura (al tacto), estructura (observación), profundidad efectiva (limitantes), color (tabla Munsell), porosidad (observación), presencia de raíces y raicillas; presencia de macro-organismos, además de la ubicación geográfica, ubicación en el paisaje, material parental, cobertura y uso del suelo. Durante el muestreo de estos perfiles, también se tomó una muestra por horizonte de aproximadamente 1 kg para analizar propiedades físico-químicas, la cual se empacó en bolsa plástica y se rotuló con la información de los datos de campo (cumpliendo con los estándares de rotulación u custodia de las muestras). Al culminar el trabajo de muestreo, se restablecieron las condiciones iniciales del terreno.

- Análisis de laboratorio

Las muestras de los diferentes horizontes descritos en campo se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, para evaluar los

<sup>19</sup> Villota, Hugo. 1997. "Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno ". Revista CIAF, 15(1): 83—117. Santa Fe de Bogotá.

<sup>20</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Estudio general de Tierras y zonificación de suelos del departamento de Antioquia. 2 Imprenta Nacional de Colombia, 2007. 992 p.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

parámetros fisicoquímicos que se listan en la Tabla 2-20; además, los análisis se realizaron de acuerdo con los criterios establecidos por el Soil Survey Soil Manual (SSS) de 1993.

**Tabla 2-20. Procedimientos determinaciones fisicoquímicas en el suelo.**

Propiedad	Unidad	Método
Materia Orgánica	%	NTC 5403 Walkley y Black. Método cuantificación: Volumétrica
pH	-	NTC 5264 Suelo / Agua (1:1). Método cuantificación: Potenciométrica
Fósforo	mg/kg suelo	NTC 5350 Bray II. Método cuantificación: Colorimetría
CIC efectiva	cmol (+)/kg suelo	NTC 5268 Método saturación con acetato de amonio. Método cuantificación: Volumétrica
CIC Total	cmol (+)/kg suelo	NTC 5349 Método de extracción con acetato de amonio 1N y pH 7.
CICV	cmol (+)/kg suelo	
Aluminio	cmol (+)/kg suelo	NTC 5263 Método de extracción: KCl 1M. Método cuantificación: Volumétrica
Calcio	cmol (+)/kg suelo	NTC 5349 Método de extracción con acetato de amonio 1N y pH 7. Método cuantificación: Absorción atómica
Magnesio	cmol (+)/kg suelo	
Potasio	cmol (+)/kg suelo	
Sodio	cmol (+)/kg suelo	NTC 5596 Método de extracción pasta de saturación
Azufre	ppm	NTC 5402 Método de extracción con fosfato monocálcico. Método cuantificación: Turbidimétrico (UV/VIS)
Hierro	ppm	NTC 5526 Olsen modificado. Método cuantificación: Absorción atómica
Manganeso	ppm	
Cobre	ppm	
Zinc	ppm	
Boro	ppm	NTC 5404 Método de extracción Barger y Troug (Agua caliente). Método cuantificación: Emisión atómica
Nitratos	mg/kg	Serie Agronomic (9). Methods of soil analysis. Second edition 33-6.3
Conductividad eléctrica	mS/cm	NTC 5596 Método de extracción pasta de saturación. Método cuantificación: conductivimetría
Densidad Aparente	Mg/m <sup>3</sup>	Terrón parafinado
Densidad real	Mg/m <sup>3</sup>	Picnómetro
Retención de humedad	%	Ollas de presión Richard
COLE	%	Rodillo
Textura	%	Bouyoucos
Porosidad	%	A partir de Da y Dr

Fuente: Laboratorio de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2023

- Fase pos-campo

En esta fase, se analizaron y consolidaron los resultados obtenidos de la fase de campo y preparatoria. Se determinaron las características fisicoquímicas principales de los ped muestreados y se diligenció la GDB.

### 2.3.3.1.3.2 Fertilidad química del sitio de muestreo

La fertilidad natural es la cualidad que tiene un suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el normal desarrollo de las plantas. Se utilizaron los criterios establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi<sup>21</sup>, en donde se asignaron unos puntajes de acuerdo a los valores obtenidos de las muestras obtenidas de campo y enviadas al laboratorio (ver Tabla 2-21), y posteriormente se suman los puntajes para determinar la Fertilidad 1 y 2 (F1 y F2) y luego se aplica la Ecuación 2.2. Fertilidad química del suelo. Finalmente, se analizó el resultado con los valores de la Tabla 2-22.

**Tabla 2-21. Evaluación de la fertilidad de los suelos.**

pH		Rango	<4,5...>8,5	4,6-5,0...7,9-8,4	5,1-5,5...7,4-7,8	5,6-6,0	6,1-7,3	
Agua 1:1		<b>Puntaje</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Saturación de Al %		Rango	>60	60-30	29-15	14-5	<5	
		<b>Puntaje</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Capacidad de Cambio Me/100gr AcNH en pH7		Rango	<5	5-10	11-15	16-20	>20	
		<b>Puntaje</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
BASES	Porcentaje Saturación	Rango	<10	10-35	36-50	51-70	>70	
		<b>Puntaje</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	
	Totales Me 100 g-1	Rango	<4	4-8	8,1-12	12,1-16	>16	
		<b>Puntaje</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	
% Carbono Orgánico	Clima Frío	Rango	<1,3	1,4-2,6 >10	2,7-4,8 1-10	4,1-5,2 8,0-6,6	5,3-6,5	
		<b>Puntaje</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
	Clima medio	Rango	<0,5	0,6-1,7 >7,6	1,8-2,9 6,5-7,6	3,0-4,1 5,4-6,5	4,2-5,3	
		<b>Puntaje</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
	Clima cálido		Rango	<0,2	0,2-0,5	0,51-1,7	1,71-2,9	>3

<sup>21</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Metodología: Elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito M40100-03/16 V7. Grupo interno de trabajo levantamiento de suelos y aplicaciones agrológicas, 2016. Disponible desde internet: <URL: [http://sofigac.igac.gov.co/scriptsportal/resultados\\_busqueda.php?idcategoria=1004&proceso=8&opcion\\_regres o=2.7.1](http://sofigac.igac.gov.co/scriptsportal/resultados_busqueda.php?idcategoria=1004&proceso=8&opcion_regres o=2.7.1)>.

	Puntaje	1	2	3	4	5
<b>Fósforo ppm Brayll</b>	Rango	<10	10-20	21-30	31-40	>40
	Puntaje	1	2	3	4	5
<b>Potasio Me/100 g</b>	Rango	<0,1	0,1-0,2	0,21-0,3	0,31-0,4	>0,4
	Puntaje	1	2	3	4	5

*Fuente: IGAC, 2016*

La fertilidad química se determinó por medio de la siguiente expresión luego de calificar los puntajes de las propiedades analizadas en el laboratorio.

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

Dónde:

- FT: Fertilidad total
- F1: Fertilidad 0 - 25 cm (sumatoria de puntajes)
- F2: Fertilidad 25 – 50 cm (sumatoria de puntajes)
- K: 0,285

**Tabla 2-22. Clasificación de la fertilidad.**

>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*

Con los reportes de laboratorio de suelo y bajo criterio profesional se analizaron los siguientes aspectos:

- Compactación a partir de la información derivada de la densidad aparente del suelo y la porosidad
- La saturación de bases a partir de elementos identificados y carbono orgánico a partir del porcentaje de materia orgánica
- Salinidad a partir de los valores de pH, las concentraciones de Sodio (Na) y el porcentaje saturación de determinadas

- Degradación por erosión, salinización y desertificación, a partir de observaciones en campo e información secundaria disponible en los catálogos de mapas del IDEAM<sup>22</sup> y el Sistema para el Análisis y Gestión de Información del Licenciamiento Ambiental (AGIL)<sup>23</sup>.

### 2.3.3.1.3.3 *Uso actual*

Para determinar el uso actual del suelo, se utilizó la base de datos en Excel de coberturas de la tierra elaborada siguiendo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, a partir de la foto aérea del proyecto, la imagen satelital y el control de campo. Una vez definidas las coberturas de la tierra, la determinación de los usos actuales del suelo se realizó por medio de una homologación y agrupación de acuerdo con lo descrito en la Leyenda de Usos Agropecuarios del Suelo, elaborado por el Convenio 4418 IGAC-110 UPRA<sup>24</sup>. Las coberturas se agruparon en los diferentes usos del suelo definidos en la Resolución 2182 del 23 de diciembre de 2016 (MADS, 2016), y que apliquen para el área de influencia (ver Tabla 2-23).

**Tabla 2-23. Factores de clasificación de uso del suelo y uso del suelo.**

Uso del suelo	Tipo de uso
Agrícola	Cultivos transitorios intensivos
	Cultivos transitorios semi-intensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes semi-intensivos
Agroforestal	Silvoagrícola
	Agrosilvopastoril
	Silvopastoril
Ganadera	Pastoreos intensivo y semi-intensivo
	Pastoreo extensivo
Forestal	Producción
	Producción-protección
	Protección
Conservación	Forestal protectora
	Recursos hídricos
	Recuperación
Infraestructura	Infraestructura
	Residencial
	Industrial
	Transporte
	Servicios
	Recreacional

<sup>22</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA (SIAC). Catálogo de Mapas (IDEAM) [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 23 de marzo]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>

<sup>23</sup> SISTEMA PARA EL ANÁLISIS Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN DEL LICENCIAMIENTO AMBIENTAL (AGIL). Servicios SIG: Capa: MediosAbioticoBiotico - (IDEAM) Desertificación [sitio web]. Bogotá D.C; [Consultado: 23 de marzo]. Disponible en: <http://sig.anla.gov.co:86/index.aspx>

<sup>24</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.

Uso del suelo	Tipo de uso
	Comercial
	Materiales de construcción
	Disposición de materiales sólidos
	Disposición de materiales líquidos

*Fuente: SAG, 2024 con base en la Resolución 2182 de 2016*

#### 2.3.3.1.3.4 Vocación y capacidad de uso del suelo

La clasificación por vocación y capacidad de uso de las tierras se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture USDA) del año 1965, la cual fue adoptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014)<sup>25</sup>. Esta metodología permitió agrupar las unidades cartográficas de suelos en grupos que tienen las mismas limitaciones y, por lo tanto, la misma capacidad para la realización de actividades de uso agrícola, pecuaria, forestal y áreas de conservación protección o manejo especial, con el ánimo de garantizar el desarrollo sostenible del recurso suelo.

Esta clasificación está integrada por un conjunto de criterios que definen rangos, los cuales permitieron obtener el valor de la capacidad de uso en términos de clases. La clase de capacidad agrupa suelos que presentan el mismo grado relativo de limitaciones generales y de riesgos.

En consecuencia, las clases consideradas serán los siguientes tres (3) grandes grupos:

- Grupo de tierras con capacidad para ser utilizadas en agricultura y ganadería tecnificada de tipo intensivo y semi intensivo (clases 1 a 4).
- Grupo de tierras que pueden ser utilizadas en forma restringida, en actividades agrícolas, ganaderas, agroforestales y forestales (clases 5 a 7).
- Tierras que deben ser utilizadas sólo en preservación, conservación y ecoturismo (clase 8).

Las características que se evaluaron para asignar las diferentes clases agrológicas fueron entre otras: pendiente, erosión, movimientos en masa, drenaje natural, inundaciones, encharcamientos, profundidad efectiva, fragmentos en el suelo, pedregosidad superficial, afloramiento rocoso, fertilidad, contenido de sales, contenido de sodio, sales y sodio, Ca / Mg, saturación de aluminio, distribución de lluvias, piso térmico y condición de humedad.

La pendiente es una de las características más importantes para determinar las diferentes clases agrológicas; esta variable se obtuvo del MDT (modelo digital con tamaño de pixel 12,5 m x 12,5 m sensor ALOS PALSAR), con apoyo de un analista SIG, así se generó una base de datos en Excel donde se cruzarán las unidades de suelos con las pendientes. La pendiente se agrupo en los rangos que se presentan en Tabla 2-24.

<sup>25</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá, 2014. 44 p.

**Tabla 2-24. Rangos de pendiente y clases agrológicas.**

Clase Agrológica USDA	Clase Agrológica IGAC	Pendiente (%)
I	1	0-3
II	2	3-7
III	3	7-12
IV	4	12-25
V	5	3-7
VI	6	25-50
VII	7	50-75
VIII	8	75-100

*Fuente: SAG, 2020 con base en información de IGAC y USDA*

En los casos donde el porcentaje de pendiente no se considere representativo, se evaluaron otras de las características anteriormente mencionadas, para determinar la clase más adecuada.

Las unidades de capacidad de uso de las tierras se representan por símbolos formados de números arábigos y letras minúsculas. El primer número indica la clase por capacidad, las letras minúsculas representan la subclase y el número arábigo que continúa, separado por un guion, está relacionado con el grupo climático.

Las subclases agrupan suelos dentro de una clase, con el mismo número y grado de limitaciones generales y riesgos para uso agrícola. Se designan añadiendo a la clase la letra o letras si es más de una, que indican las limitaciones que tiene el suelo; las letras utilizadas para la designación de las subclases son las siguientes:

- e: Designa la erosión presente en la superficie del suelo.
- h: Designa la humedad excesiva sobre o dentro del perfil.
- s: Designa limitaciones físicas o químicas propias de los suelos y que impiden la penetración de las raíces y/o el laboreo.
- c: Designa al clima como limitante por exceso o déficit de humedad, temperatura y/o luminosidad extremadamente bajas.
- p: Gradiente de la pendiente que limita el laboreo o aumenta la susceptibilidad de los suelos a la erosión.

La determinación del grupo de manejo se determinó con base en las limitaciones específicas, sus respectivos grados y las características particulares de los suelos: material parental, grupo textural, permeabilidad, retención de humedad, pedregosidad, profundidad efectiva, tipo de contraste textural, fertilidad, contenido y saturación de aluminio, grados de las pendientes; clases de drenaje natural, frecuencia y duración de las inundaciones y/o encharcamientos, profundidad del nivel freático; grados de erosión y susceptibilidad a la erosión; clima en lo relacionado con disponibilidad de agua y temperatura.

A partir de los resultados obtenidos, se elaboraron los mapas de vocación y capacidad de uso del suelo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

#### 2.3.3.1.3.5 Conflicto del uso del suelo

Para la definición de los conflictos de uso de las tierras, se cruzó la capacidad de uso de las tierras (uso potencial) y el uso actual del suelo, utilizando la matriz de decisión (ver Figura 2-7) que sugiere la metodología definida por IGAC y CORPOICA, 2002<sup>26</sup> en Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia y los criterios basados en las categorías de conflictos definidas en la Resolución 2182 de 2016. Estas categorías son las siguientes:

- Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado (A): hace referencia a las tierras en que los usos actuales guardan total concordancia respecto de la capacidad de uso de las tierras, sin que el recurso suelo presente deterioro de significancia, permitiendo mantener las actividades productivas o desarrollar nuevas, sin deteriorar la base natural de los recursos. Adicionalmente se incluyen las tierras definidas como subutilizadas en las cuales los suelos permiten una mayor explotación.
- Tierras en conflicto por sobreutilización ligera (S1): corresponde a las tierras en las que el uso actual, está próximo a la capacidad de uso de tierras, manifestando una ligera inconsistencia, evidenciando un nivel de explotación del recurso por encima del recomendado, con el consiguiente deterioro progresivo por el incremento de procesos erosivos, la disminución de la fertilidad natural y/o el deterioro de la flora y la fauna asociada; aspectos que de no ser atendidos promoverán alteraciones mayores en el largo plazo.
- Tierras en conflicto por sobreutilización moderada (S2): se establece en las tierras en las cuales el uso actual se encuentran de forma moderada por encima de la capacidad de uso de las tierras, afectando medianamente su producción sustentable, disminuyendo la productividad y la capacidad de regeneración de los suelos; adicionalmente, este conflicto se refleja en la pérdida de la flora nativa y por consiguiente en la disminución de los hábitats de fauna, promoviendo en un mediano plazo alteraciones mayores.
- Tierras en conflicto por sobreutilización severa (S3): identifica las tierras que presentan usos actuales inadecuados totalmente contrarios a la capacidad de uso de las tierras, sobrepasando la capacidad de soporte del medio natural en un grado severo; presentan graves riesgos de tipo ecológico y social, que evidencian en algunos sectores la degradación avanzada no solo de los suelos sino de los recursos naturales asociados, como son el agua, la flora y la fauna, afectando el balance natural y la estabilidad de los ecosistemas.
- Tierras en conflicto por subutilización ligera (O1): corresponde a las tierras en las que el uso actual, está próximo a la capacidad de uso, manifestando una ligera inconsistencia, evidenciando un nivel de explotación del recurso por debajo del recomendado, con la consiguiente, baja utilización del recurso suelo, teniendo productividad diferente a la potencial de los suelos.

<sup>26</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.

- Tierras en conflicto por subutilización moderada (O2): se establece en las tierras en las cuales el uso actual se encuentra de forma moderada por debajo de la capacidad de uso de las tierras, afectando los niveles de productividad de los suelos medianamente un uso inadecuado del recurso; aunque no hay pérdida del recurso como tal, sí se evidencian factores de uso inadecuado del recurso y se desaprovechan las propiedades potenciales de producción del suelo.
- Tierras en conflicto por subutilización severa (O3): identifica las tierras que presentan usos actuales inadecuados totalmente contrarios a la capacidad de uso de las tierras, subutilizando el recurso natural en un grado severo; los suelos no son utilizados correctamente según su uso potencial; no hay deterioro del recurso, pero puede presentar conflictos de carácter social.

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	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 2-7. Matriz de decisión de conflictos por uso del suelo.**

Fuente: IGAC y CORPOICA, 2002

Finalmente, se realizó una revisión de la información de usos del suelo y destinación espacial de este, contenida en los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) de los municipios de Jericó y Fredonia, con el fin de identificar si en los territorios existen restricciones especiales para el desarrollo del proyecto, desde el punto de vista de destinación del uso del recurso suelo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

#### 2.3.3.1.4 Hidrología

##### 2.3.3.1.4.1 Zonificación hidrográfica

La zonificación hidrográfica del área de influencia 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>27</sup>.

##### 2.3.3.1.4.2 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).

##### 2.3.3.1.4.3 Identificación de sistemas lénticos y lóticos

La identificación de los sistemas lóticos y lénticos, se realizó teniendo en cuenta la cartografía base del IGAC a escala 1:25.000. El modelo digital del terreno - DEM (por sus siglas en inglés) se generó a partir de una imagen satelital del sensor Alos PALSAR de 12 m de resolución. **Definidos los sistemas hídricos asociados a las obras de infraestructura del proyecto incluyendo el área de influencia del mismo, a partir de recorridos de campo y la interpretación multitemporal de imágenes satelitales y ortomosaicos del área de influencia (2007 – 2022), se realizó la actualización del alineamiento longitudinal y axial de los elementos cartográficos afines a los cuerpos de agua de referencia, agregando un drenaje natural en un área aledaña al lote donde se emplazará la subestación Carrieles y escorrentías de aguas lluvia superficiales adyacentes a las obras de infraestructura y servidumbre del proyecto, este drenaje natural y las escorrentías de aguas lluvias no serán intervenidas por el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.**

##### 2.3.3.1.4.4 Parámetros morfométricos

Con el fin de caracterizar el comportamiento hidrológico de las cuencas identificadas, se estimaron los parámetros morfométricos y fisiográficos usando las herramientas de cálculo disponibles en los softwares SIG. Los parámetros morfométricos calculados son los que se listan a continuación:

- Área de la cuenca (A): Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio. 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.

<sup>27</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia. Bogotá, D.C. 2013

- 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 ( $K_f < 1$ ), está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

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

Dónde:

$K_f$  = Factor de forma de Horton. Valores de  $K_f$  menores a 1 sugieren cuencas alargadas, y mayores a 1 sugieren cuencas redondeadas.

A = Área de la cuenca en  $\text{km}^2$

L = Longitud de la cuenca en km

- Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ): 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:

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

Dónde:

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

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 2-25).

**Tabla 2-25. 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
>1.75	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 alto y más bajo de la 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 en grados y se puede clasificar según la Tabla 2-26. 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.

**Tabla 2-26. Clasificación de pendientes.**

Pendiente (%)	Clase
0 - 3	Plana a ligeramente plana
3 - 7	Ligeramente inclinada
7 - 12	Moderadamente inclinada
12 - 25	Fuertemente inclinada
25 - 50	Ligeramente escarpada
50 - 75	Moderadamente escarpada
> 75	Fuertemente escarpada

*Fuente: IGAC, 2007*

- **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 alto y más bajo de la corriente principal de la 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 porcentaje o en m/m.

#### 2.3.3.1.4.5 Patrones de drenaje

Los patrones de drenaje característicos de las cuencas se categorizaron de acuerdo con la clasificación establecida por autores como Howard<sup>28</sup> y Eagleson<sup>29</sup>, en los cuales se tienen en cuenta factores climáticos y geológicos, para determinar los patrones de drenaje para las corrientes fluviales (ver Tabla 2-27 y Figura 2-8 respectivamente).

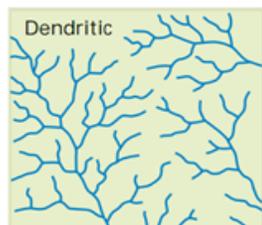
<sup>28</sup> HOWARD, A.D. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 51, 2246-2259. 1967.

<sup>29</sup> EAGLESON, P. S. Dynamic hydrology. New York: McGraw-Hill. 1970.

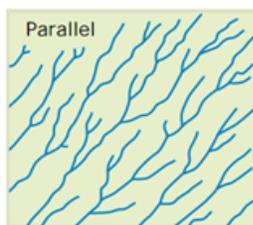
**Tabla 2-27. Clasificación de los patrones de drenaje.**

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 fase 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*



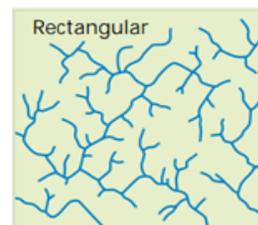
(a) Dendrítico



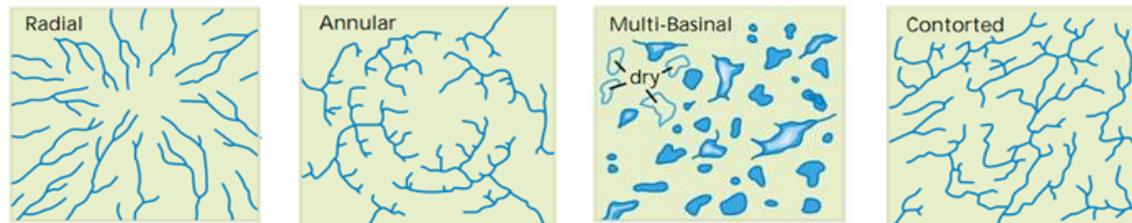
(b) Paralelo



(c) Enrejado



(d) Rectangular



(e) Radial

(f) Anular

(g) Multicubeta

(h) Contorsionado

**Figura 2-8. Tipos de drenaje en una cuenca.**

*Fuente: Eagleson, P.S. 1970.*

#### 2.3.3.1.4.6 Análisis de consistencia y homogeneidad

Con la finalidad de determinar la calidad de los registros climatológicos de las estaciones cercanas al área de influencia, se realizó un análisis de consistencia y homogeneidad de la información.

Para el estudio 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 hidrometeorológicas. A continuación, se presenta la metodología para el análisis de consistencia y homogeneidad para las estaciones seleccionadas para el presente estudio.

##### 2.3.3.1.4.6.1 Estaciones hidrometeorológicas de estudio

Las condiciones hidrometeorológicas del área de influencia se describieron con base en la información disponible del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a partir de los registros de las estaciones más cercanas al área de influencia.

##### 2.3.3.1.4.6.2 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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- **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.
- **Método gráfico de curvas de doble 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. 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 tomados 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<sup>30</sup>.

#### 2.3.3.1.4.6.3 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>31</sup>, por lo que la función de distribución de masa de probabilidad de series independientes, que resulta 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.

De esta forma, se realizaron las pruebas de homogeneidad a las series agregadas anualmente. 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 evaluó la normalidad de las series de tiempo usando la prueba de Shapiro-Wilk<sup>32</sup>, la cual es ampliamente usada para tamaños muestrales inferiores a 50. Para efectuarla se calcula

<sup>30</sup> IDEAM, 2018. Metodología de la operación estadística – Variables meteorológicas. 113 p

<sup>31</sup> WILKS, D.S. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 2nd Edition, Academic Press, London.

<sup>32</sup> SHAPIRO, S. S., and M. B. WILK. “An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples).” *Biometrika* 52, no. 3/4 (1965): 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.

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:

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

Dónde D es la suma de las diferencias corregidas. 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) para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

- **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 (Devore<sup>33</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  $F \leq f_{1-\frac{\alpha}{2}, m-1, n-1}$  donde  $s_1^2$  y  $s_2^2$  representan las varianzas y  $m$  y  $n$  representan las longitudes de las subseries.

- **Prueba de cambio en la media**

Se usa la prueba T de dos colas para muestras con varianzas diferentes, como se explica en Devore. Con esta prueba se evaluará 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:

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{m} + \frac{s_2^2}{n}}}$$

<sup>33</sup> DEVORE, J.L., 1998. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

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 y  $m$  y  $n$  representan la longitud de las subseries.

- **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<sup>34</sup>. El estadístico no paramétrico está definido como:

$$K_T = \max|U_{t,T}|$$

Dónde:

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j)$$

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:

$$p \approx 2 \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right)$$

- **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

<sup>34</sup> POHLERT, T. (2016) Package “Trend”: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R Package, 26.

una serie de signos de cada dato con respecto a los siguientes para obtener el estadístico de la prueba.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Dónde:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

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:

$$Z = \begin{cases} S - 1/\sigma & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ S + 1/\sigma & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

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 ( $\alpha = 0,05$ ).

#### 2.3.3.1.4.7 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.

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)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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:

$$h_{px} = \frac{1}{n} \left[ \frac{p_x}{p_1} h_{p1} + \frac{p_x}{p_2} h_{p2} + \dots + \frac{p_x}{p_n} h_{pn} \right]$$

Dónde:

$h_{pi}$ : 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

#### 2.3.3.1.4.8 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.

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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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.

#### 2.3.3.1.4.8.1 Precipitación

- **Distribución espacial de la precipitación media anual multianual**

Para la espacialización de la precipitación en la zona de estudio, se realizó una interpolación gráfica mediante la utilización de la herramienta Kriging disponible en el software SIG, a partir de los valores medios anuales multianuales de precipitación de las estaciones del IDEAM que operan cerca del área de influencia del proyecto.

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:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(s_i)$$

Dónde:

- $z(s_i)$ : 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>35</sup>.

#### 2.3.3.1.4.8.2 Temperatura

- **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>36</sup> es una buena manera de estimar la temperatura media multianual en cualquier lugar del 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:**

$$T_{media} = 29,42 - 0,0061H$$

Dónde:

- $T_{media}$ : 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>37</sup>.

#### 2.3.3.1.4.8.3 Evaporación

- **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 infiltración, manteniendo el flujo base de las corrientes; además, el suministro de agua en la zona

<sup>35</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>

<sup>36</sup> JARAMILLO ROBLEDO, Álvaro. Relación entre la evaporación y los elementos climáticos, 1989. p.86-94.

<sup>37</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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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>38</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-Budyko**

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>39</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:

$$ETP = 365 * 4,658 \exp(-0,0002 h)$$

Dónde:

- 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>40</sup>:

$$ETR = \sqrt{ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right)}$$

Dónde:

- ETR es la evapotranspiración real (mm/año)
- P es la precipitación (mm/año)
- ETP es la evaporación potencial (mm/año).

- **Método de Turc**

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:

<sup>38</sup> BARCO, O. J, CUARTAS, L. A. Estimación de la evaporación en Colombia. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 1998.

<sup>39</sup> JARAMILLO, R. A. Relación entre la evaporación y los elementos climáticos. Cenicafé. p.86-94.

<sup>40</sup> BUDYKO, M. I. Climate and Life, Academic, Orlando, Fla. 1974.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ para } \left(\frac{P}{L}\right) > 0,316$$

$$ETR = P \text{ para } \left(\frac{P}{L}\right) < 0,316$$

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:

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

- Donde *T* es la temperatura media multianual en °C.

#### 2.3.3.1.4.9 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>41</sup>.

Para empezar, se asignó una reclasificación a los mapas de temperatura y precipitación media multianual obtenidos anteriormente, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2-28 y Tabla 2-29 respectivamente. El proceso anterior se realizó utilizando la herramienta “Calculadora Ráster” del software ArcGIS versión 10.8.

**Tabla 2-28. 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 2-29. 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

<sup>41</sup> IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I, Sinchi e IIAP. Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. 2007.

Denominación precipitación	Rangos de precipitación anual
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 versión 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 2-9.

<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>Fríos (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 fríos (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 fríos (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 2-9. Leyenda del mapa de zonificación climática.**

*Fuente: IDEAM, 2007*

#### 2.3.3.1.4.10 Régimen hidrológico

##### 2.3.3.1.4.10.1 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

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

de EPM<sup>42</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, 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 Gumbel y Lognormal, cuyos factores se calculan con las siguientes ecuaciones:

- Gumbel:

$$K_{Tr} = - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[ 0,577 + \ln \left( - \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

- Lognormal:

<sup>42</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>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

$$K_{Tr} = \frac{\text{Exp}\{Z_t[\ln(1 + c_{vx}^2)]^{0.5} - 0.5 \ln(1 + c_{vx}^2)\} - 1}{c_{vx}}$$

Una vez son obtenidos los seis resultados (dos distribuciones y tres métodos) se obtiene el promedio de los resultados obtenidos.

#### 2.3.3.1.4.10.2 Caudales medios: balance hídrico de largo plazo

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>43</sup>. La ecuación empleada es:

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

Dónde:

- 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.

#### 2.3.3.1.4.10.3 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 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.

<sup>43</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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

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>44</sup> y Campo & Múnera<sup>45</sup> son:

- **Témez (1978)**

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S_0^{0,25}} \right)^{0,75}$$

Dónde:

- 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)**

$$T_c = \frac{L A^{0,4}}{D S_0^{0,2}}$$

Dónde:

- 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>44</sup> SMITH, Ricardo; VELEZ, Maria. Hidrología de Antioquia. 1997. Secretaría de obras públicas departamentales.

<sup>45</sup> CAMPO, Juan; MUNERA, Juan. Determinación de tiempos de concentración y coeficientes de escorrentía para algunas cuencas de Antioquia. 1997. Universidad Nacional de Colombia.

$$T_c = 0,066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)$$

Dónde:

- 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)**

$$T_c = 5 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5}$$

Dónde:

- L: longitud del cauce principal en millas
- So: pendiente del canal en pies/milla

- **California Culverts Practice (1942)**

$$T_c = 0,01 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Dónde:

- L: longitud del canal principal en kilómetros
- H: diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria en metros

- **Giandiotti (1990)**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3\sqrt{LS_0}}$$

Dónde:

- 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**

$$T_c = 0,947 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Dónde:

- L: Longitud del cauce principal en kilómetros
- H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en pies

- **Linsley**

$$T_c = C_t \left( \frac{L\bar{L}}{S_0^{0,5}} \right)^{0,35}$$

Dónde:

- 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**

$$T_c = C_t(L\bar{L})^{0,3}$$

Dónde:

- L: Longitud de la cuenca en millas
- ( $\bar{L}$ ): Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca en millas

- Ct: Constante: Ct = 1,2 en áreas montañosas
- Ct=0,72 en zonas de pie de ladera y Ct= 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.

- **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.

Para la generación de las curvas IDF, se usan ecuaciones las metodologías propuestas por Wilches<sup>46</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:

$$K = \frac{\mu(\exp(\Phi \sqrt{\ln(1 + CV^2)}))}{\sqrt{1 + CV^2}(105/1440)^\theta}$$

- **Coficiente 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

<sup>46</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.

referencia el documento de guía de diseño de canales de la ciudad de Texas, Austin, USA<sup>47</sup>, mostrada en la Tabla 2-30.

**Tabla 2-30. 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
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

<sup>47</sup> CHOW, V.T., MAIDMENT, D., MAYS, L. Hidrología aplicada. Bogotá. Mcgraw-Hill interamericana. p584. 1994.

- **Método racional**

Este modelo, descrito por Ven Te Chow<sup>48</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>49</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:

$$Q = \frac{c * i * A}{3,6}$$

Dónde:

- 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>.

#### 2.3.3.1.4.10.4 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. Estas metodologías indirectas utilizan parámetros hidroclimatológicos 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:

$$Q_s = Q_c \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^n$$

<sup>48</sup> CHOW, V.T., MAIDMENT, D., MAYS, L. Hidrología aplicada. Bogotá. Mcgraw-Hill interamericana. pp511. 1994.

<sup>49</sup> INVIAS, I. N. Manual de Drenaje para carreteras. Bogota. 2009.

- $Q_s$ =caudal de la cuenca sin información ( $m^3/s$ )
- $Q_c$ =caudal de la cuenca con información ( $m^3/s$ )
- $A_s$ =área de la cuenca sin información ( $km^2$ )
- $A_c$ =área de la cuenca con información ( $km^2$ )
- $n$ =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>50</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

#### 2.3.3.1.4.10.5 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

<sup>50</sup> LEOPOLD, L. B. A view of the river. Harvard University Press, 1994.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

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>51</sup>.

#### 2.3.3.1.4.10.6 Oferta hídrica

Según Corponariño<sup>52</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.

#### 2.3.3.1.4.11 Identificación de la dinámica fluvial y análisis espacial y multitemporal de fuentes hídricas superficiales

Los ríos 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 las diversas corrientes de agua superficial y cuerpos de agua lóticos con 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 la estabilidad en el tiempo de dichos cuerpos lóticos.

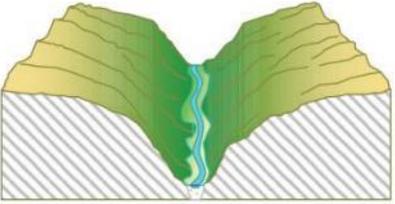
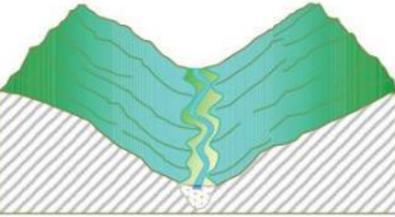
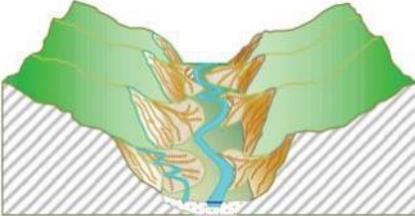
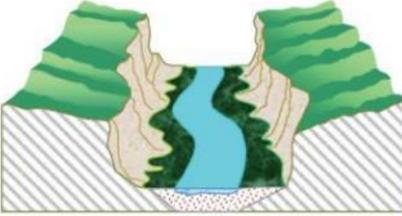
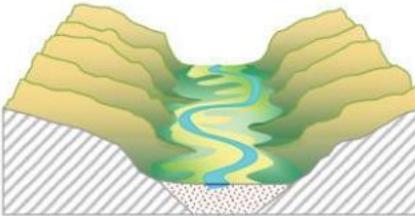
##### 2.3.3.1.4.11.1 Tipos de valle

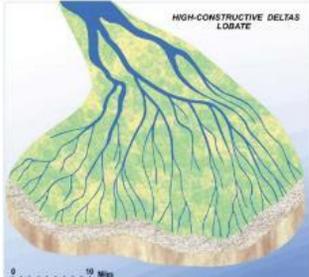
Conforme al ciclo geomórfico de Davis, se tiene que las características del valle tienen retroalimentaciones positivas y negativas con el grado de evolución de un río; por lo que en ríos jóvenes los valles son más estrechos y en ríos más maduros la amplitud o ancho del valle aumenta. Rosgen (1994) propuso una metodología de clasificación de éstos a partir de características físicas como la pendiente, tipo de material, amplitud del valle, entre otras (ver Tabla 2-31).

<sup>51</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 865 de 2004.

<sup>52</sup> CORPONARIÑO. Oferta y demanda hídrica, 2011. Disponible en: <https://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

**Tabla 2-31. 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 glaciares 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>53</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,

<sup>53</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.

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:

- **Relación de encajonamiento**

Indica el grado de confinamiento de un río al interior del valle, e evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$RE = \frac{API}{ABLL}$$

Dónde, 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 2-32. Relación de encajonamiento.**

Relación de encajonamiento	Condición
0,0 – 1,4	Encajonado
1,4 – 2,2	Moderadamente encajonado
>2,2	Levemente encajonado

*Fuente: SAG S.A, 2024*

- **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:

$$Sn = \frac{LR}{LV}$$

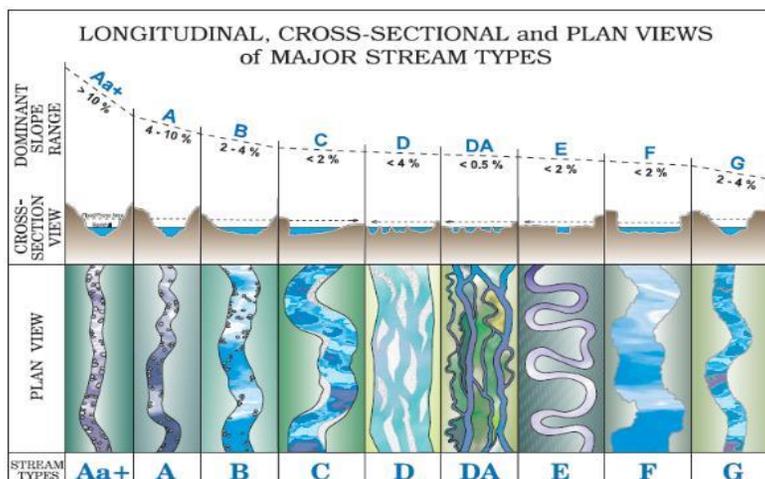
Dónde, Sn es el grado de sinuosidad, LR es la longitud del río y LV la longitud del valle.

**Tabla 2-33. Grado de sinuosidad.**

Valor de sinuosidad	Grado de sinuosidad
1,0 – 1,05	Rectilíneo
1,05 – 1,5	Sinuoso
>1,5	Meandriforme

Fuente: SAG S.A, 2024

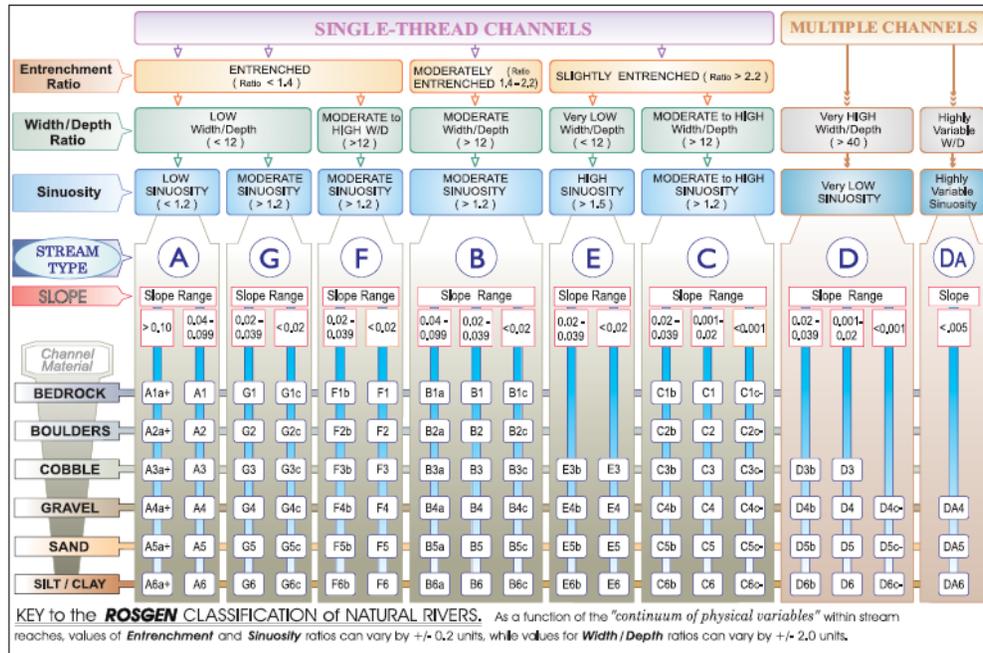
En la Figura 2-10 se puede observar cómo cambia la sección transversal y alineamiento de un río a partir de la influencia de su pendiente. Por ejemplo, cuando un río fluye por un valle amplio asociado a su vez a zonas de baja pendiente tiene la capacidad de divagar y de fluir libre a menos de que haya restricciones geológicas que lo imposibiliten.



**Figura 2-10. 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 pendiente del lecho de los ríos permite realizar inferencias a cerca de su comportamiento o dinámica en un espacio y tiempo dado, de acuerdo con la Figura 2-11.



**Figura 2-11. Clasificación de ríos.**

Fuente: Rosgen, 1994

2.3.3.1.4.12 Indicadores del estado del recurso hídrico

2.3.3.1.4.12.1 Índice de regulación hídrica-IRH

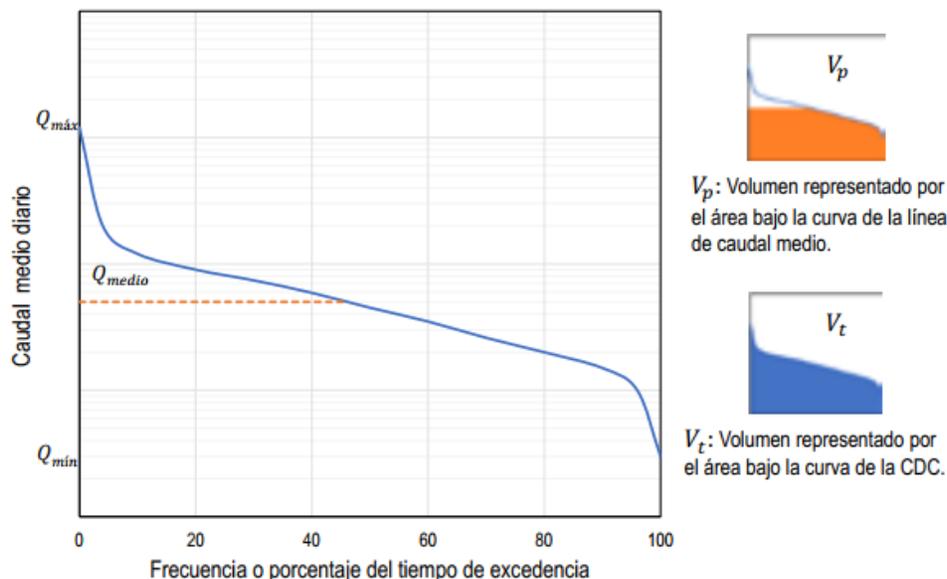
El Índice de regulación hídrica (IRH) evalúa la capacidad de la cuenca para mantener y regular un régimen de caudales, la cual está limitada por la interacción del sistema suelo-vegetación (características físicas y morfométricas de la cuenca). Su definición se hace con respecto a la curva de duración de caudales medios diarios (CDC), que representa una relación del porcentaje de tiempo el cual los caudales igualan o exceden un valor dado<sup>54</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 2-12.

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde:

<sup>54</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.

- *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



**Figura 2-12. Esquematación 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 2-34.

**Tabla 2-34. 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.

#### 2.3.3.1.4.12.2 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>55</sup>:

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

Dónde:

- IA: índice de aridez
- ETP: evapotranspiración potencial (mm/ año)
- 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 2-35.

**Tabla 2-35. 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*

<sup>55</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. IDEAM. 464 pp.

### 2.3.3.1.5 Calidad del Agua

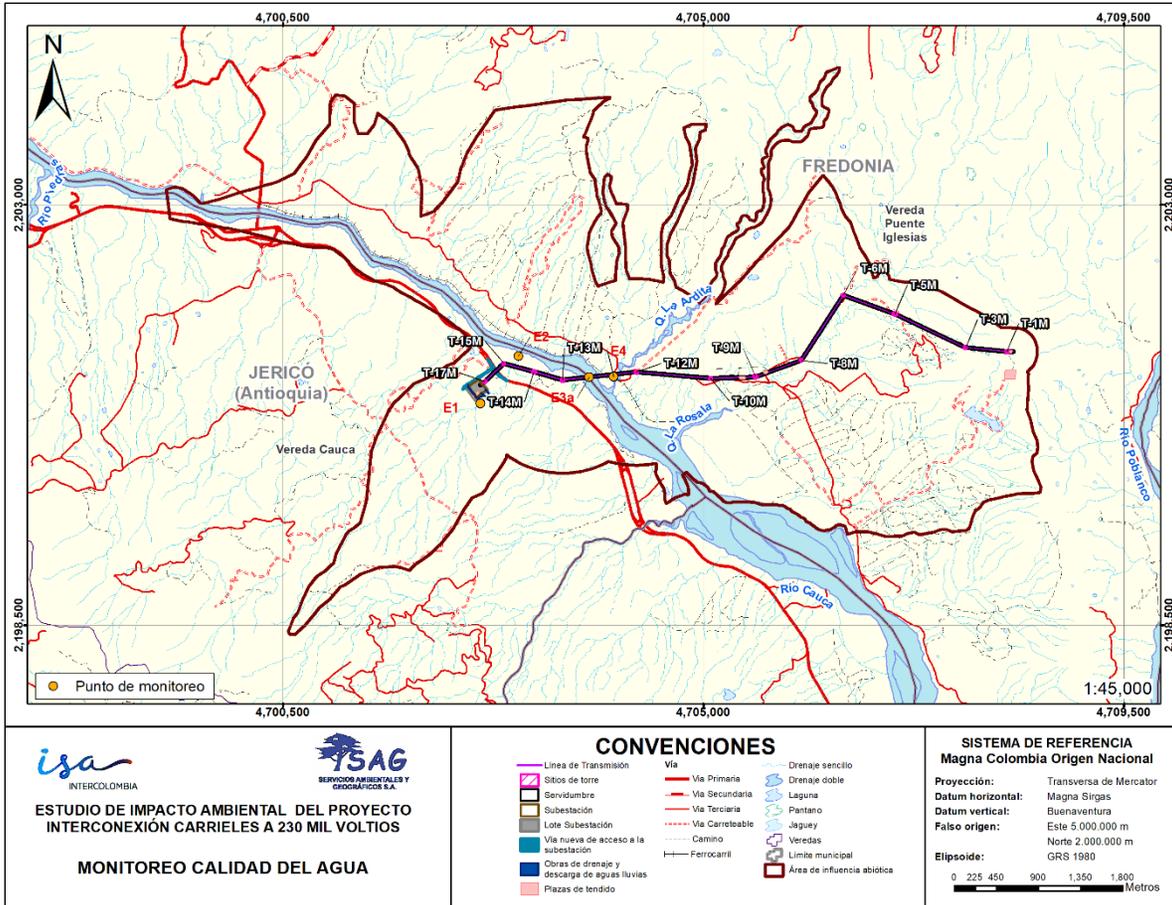
Para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las corrientes hídricas del área de influencia abiótica, se tuvieron en cuenta aquellas susceptibles de intervención por el proyecto debido a ocupaciones de cauce (Afluente sin nombre 5 o Quebrada NN y Río Cauca), también se incluyó la Quebrada La Ardita. En este sentido, se contemplaron cuatro (4) estaciones lóaticas las cuales fueron monitoreadas en diferentes condiciones hidroclimáticas, es decir, en época de temporadas secas y húmedas. En la Tabla 2-36 y Figura 2-13, se presenta la localización de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica. Es importante mencionar que, los muestreos en el río Cauca se contemplaron en todas las campañas, sin embargo, para el año 2022 se registró el fenómeno de “la Niña”, el cual se extendió por varios meses. 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).

**Tabla 2-36. 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
<b>E1</b>	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	75° 41' 10,891"	5° 48' 41,610"	4702613,27	2200872,684
<b>E2</b>	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	75° 40' 57,812"	5° 48' 58,134"	4703018,163	2201378,50
<b>E3a</b>	Río Cauca	75° 40' 33,131"	5° 48' 51,008"	4703776,615	2201155,941
<b>E4</b>	Quebrada La Ardita <sup>56</sup>	75° 40' 24,612"	5° 48' 51,101"	4704038,79	2201157,562

Fuente: SAG, 2024

<sup>56</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.



**Figura 2-13. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua, en el área de influencia abiótica.**

Fuente: SAG, 2024

Por otro lado, para analizar el grado de afectación y las características de las fuentes de agua superficial, se efectuó una caracterización fisicoquímica y microbiológica de las mismas. En la Tabla 2-37 se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.

**Tabla 2-37. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.**

Parámetros	Unidades
Temperatura	°C
Temperatura ambiente	°C
pH	U de pH
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Saturación	%
Conductividad eléctrica	µS/cm
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL
Coliformes totales	NMP/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL
Níquel total	mg/L
Surfactantes Aniónicos Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L
Sólidos Suspendedos Volátiles	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L
Cianuro total	mg/L
Zinc total	mg/L
Cloruros	mg/L
Sulfatos	mg/L
Plomo total	mg/L
Hidrocarburos totales	mg/L
Cromo total	mg/L
Arsénico total	mg/L
Bario total	mg/L
Mercurio	mg/L
Cadmio total	mg/L
Cobre total	mg/L
Fósforo reactivo total	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Nitrógeno total Kjeldahl	mg N /L
Fenólicos	mg/L
Fósforo total	mg P/L
DQO	mg/L
Nitrógeno orgánico	mg N org /L
Nitrógeno total	mg N /L
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>3</sub> -N/L
Alcalinidad, pH final titulación	U, de pH
Acidez total	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Calcio total	mg/L
Color real absorbancia a 436 nm	m <sup>-1</sup>
Color real absorbancia a 525 nm	m <sup>-1</sup>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Parámetros	Unidades
Color real absorbancia a 620 nm	m <sup>-1</sup>
Color real, pH muestra	U. de pH
Grasas y aceites	mg/L
Hierro total	mg/L
Magnesio total	mg/L
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> -N/L
Potasio total	mg/L
Sodio total	mg/L
Sólidos disueltos totales	mg/L
Sólidos suspendidos totales	mg/L
Sólidos totales	mg/L
Turbiedad	NTU

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.1.5.1 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 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

#### 2.3.3.1.5.2 Indicadores del estado de calidad del agua

##### 2.3.3.1.5.2.1 Índice de calidad del 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 2-38), 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 2-38. 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
<b>Total</b>	<b>1,00</b>

*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
- $W_i$  = Peso relativo del parámetro  $i$
- $l_i$  = Valor relativo del parámetro  $i$ .
- $n$  = número de parámetros

En la Tabla 2-39 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 recalcular. 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.

 SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 INTERCOLOMBIA	
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**Tabla 2-39. 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 $\leq 7,5$ $QpH = -0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$	$R^2 = 0,9981$	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 $\leq 500$ mg/l $QST = -4,4289E-09ST^4 + 4,650E-06 ST^3 - 1,9591E-03 ST^2 + 1,8973E-01 ST + 8,0608E+01$		
Fosfatos	$QP = 4,67320E-03P^6 - 1,61670E-01P^5 + 2,20595P^4 - 1,50504E+01P^3 + 5,38893E+01P^2 - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$	$R^2 = 0,9994$	0,10
Turbiedad	Qtur $> 100 = 5$	$R^2 = 0,9990$	0,08
	Para Qtur $\leq 100$ $QTur = 1,8939E-06Tur^4 - 4,9942E-04Tur^3 + 4,9181E-02Tur^2 - 2,6284Tur + 9,8098E+01$		
<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 2-40.

**Tabla 2-40. 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*

#### 2.3.3.1.5.2.2 Índices de contaminación (ICO's) e Índice de calidad del agua (ICA)

Ramírez 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 2-41 se presentan los rangos para la clasificación para los índices de contaminación.

**Tabla 2-41. 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$  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  $I_{Dureza} = 0$

La  $I_{Alcalinidad}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 [Alk]$$

Donde:

- [Alk] = Valor de Alcalinidad en  $\text{mg}/\text{l}$
- [Alk] > 250  $\text{mg}/\text{l}$  tienen  $I_{Alcalinidad} = 1$
- [Alk] < 50  $\text{mg}/\text{l}$  tienen  $I_{Alcalinidad} = 0$

- **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 ( $\text{DBO}_5$ ), 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:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,7 \text{ Log}_{10} [DBO_5]$$

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

En este índice, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta, tal y como se muestra en la Tabla 2-42.

**Tabla 2-42. Clasificación índice ICOTRO.**

Concentración Fósforo Total (g/m <sup>3</sup> )	Categoría índice
<0,01	Oligotrófico
0,01-0,02	Mesotrófico
0,02-1	Eutrófico
>1	Hipereutrófico

*Fuente: Ramírez et al, 1999*

- **Índice de calidad del agua-ICA**

Según el 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”. “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”.

Las variables y sus respectivas ponderaciones para el anterior índice se muestran en la Tabla 2-43.

**Tabla 2-43. 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
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 2-44.

**Tabla 2-44. 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*

### 2.3.3.1.5.2.3 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>57</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>58</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>59</sup>.

A continuación, se presentan las ecuaciones con las que se calcula el IACAL tanto para año medio como para año seco.

$$IACAL_{jt-año\ medio} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{categoriaca}l_{ijt-año\ medio}}{n} \quad IACAL_{jt-año\ seco} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{categoriaca}l_{ijt-año\ seco}}{n}$$

Dónde:

- $IACAL_{jt-año\ medio}$  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.
- $\text{categoriaca}l_{ijt-año\ medio}$  y  $\text{categoriaca}l_{ijt-año\ seco}$  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  $n$  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 2-45 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>57</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>58</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua-ENA 2022. PP 466.

<sup>59</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 2-45. 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

### 2.3.3.1.6 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), 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.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**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 conexos y complementarios; ii) generación de energía; iii) minería; iv) hidrocarburos; v) fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos 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>60</sup>

#### 2.3.3.1.6.1 Indicadores de riesgo por intervención antrópica

##### 2.3.3.1.6.1.1 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>61</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.

$$IUA_j = \frac{DHMN_j}{OHDS_j} * 100$$

Dónde

- $IUA_j$ : 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 2-46 se muestran los rangos de evaluación y las categorías en las que puede ser clasificado el IUA.

<sup>60</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.

<sup>61</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.

**Tabla 2-46. 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

### 2.3.3.1.6.1.2 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>62</sup>.

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 2-47.

**Tabla 2-47. 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.

<sup>62</sup> IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. 466 pp.

### 2.3.3.1.7 Hidrogeología

#### 2.3.3.1.7.1 Análisis de la información primaria

Para realizar la clasificación de las unidades hidrogeológicas se tomó en cuenta la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH), “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” del año 1995, considerada y adaptada para Colombia en la Guía Metodológica para la Formulación de Proyectos de Protección de Aguas Subterráneas<sup>63</sup>, dicha clasificación se presenta en la Tabla 2-48.

**Tabla 2-48. Clasificación de unidades hidrogeológicas de acuerdo a su capacidad específica**

Unidad Hidrogeológica	Características Hidrogeológicas	Capacidad específica promedio (l/s/m)
<b>A</b>	<b>Sedimentos o rocas con porosidad primaria (Flujo intergranular)</b>	
A1	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
A2	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
A3	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. Con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Entre 1,0 y 2,0
A4	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	Entre 0,05 y 1,0

<sup>63</sup> MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, IDEAM, INGEOMINAS, CORALINA y CVC. 2002. Formulación de Proyectos de Protección Integrada de Aguas Subterráneas, Guía Metodológica.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Unidad Hidrogeológica	Características Hidrogeológicas	Capacidad específica promedio (l/s/m)
	libres o confinados. Contienen aguas de regular calidad química para consumo humano.	
<b>B</b>	<b>Rocas con porosidad secundaria (Flujo a través de fracturas)</b>	
B1	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
B2	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de 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	Entre 2,0 y 5,0
B3	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
B4	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>	<b>Rocas o sedimentos con limitado o ningún recurso de agua subterránea</b>	
C1	Rocas sedimentarias muy consolidadas o sedimentos arcillosos con muy baja productividad	Entre 0,05 y 1,0
C2	Rocas ígneas y metamórficas con muy baja o ninguna productividad	Menor a 0,05

*Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM e INGEOMINAS, 2002*

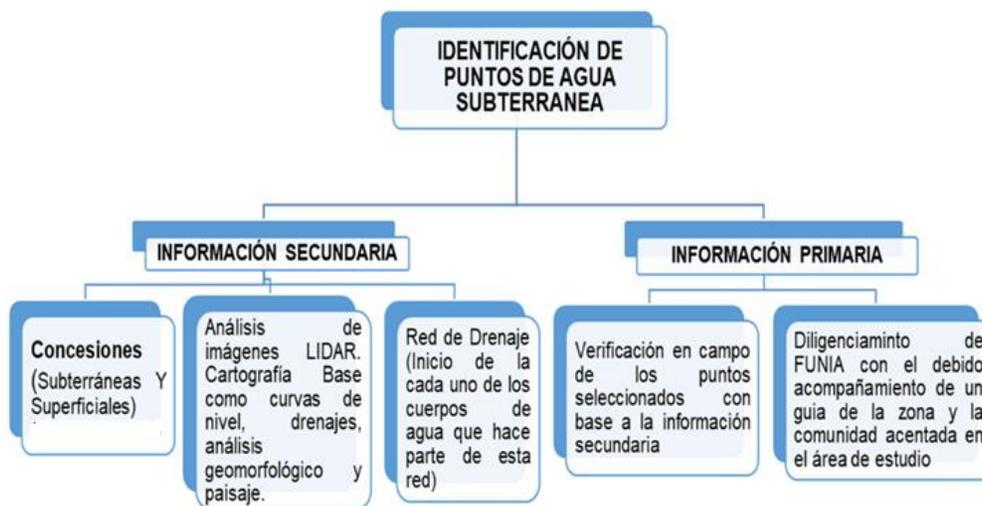
A partir de las características litológicas y de la identificación y descripción de las unidades hidrogeológicas definidas, se presentó la descripción de dichas unidades incluyendo entre

otros aspectos: potencial hidrogeológico, direcciones de flujo y zonas de recarga, tránsito y descarga.

### 2.3.3.1.7.2 *Inventario de puntos de agua*

El inventario de puntos de aguas subterráneas se diligenció en el Formato Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea. En dicho inventario se registraron coordenadas de los puntos y se tomaron fotografías para registrar las características físicas de los mismos, dichos formatos son anexos del Capítulo 5.1 del presente estudio.

La metodología para la identificación de los puntos de agua subterránea en el área de influencia del proyecto se ilustra en la Figura 2-14.



**Figura 2-14. Identificación de puntos de agua.**

*Fuente: SAG, 2024*

### 2.3.3.1.7.3 *Potencial de recarga*

Para determinar el potencial de las zonas de recarga, tránsito y descarga, se utilizó el método propuesto por Matus, Faustino y Jiménez<sup>64</sup>, el cual se basa en realizar una ponderación de la posibilidad de recarga de acuerdo con cinco (5) factores, los cuales se describen a continuación:

- **Pendiente (Pend).** Se considera un criterio relevante, pues, está directamente relacionado con la escorrentía superficial. En pendientes suaves el agua se mueve lentamente lo que favorece el proceso de infiltración, por el contrario, en zonas con pendientes altas o escarpadas la capacidad de recarga es Baja debido a que el periodo de permanencia del flujo de agua es menor.

<sup>64</sup> MATUS, Oscar; FAUSTINO, Jorge y JIMÉNEZ, Francisco. 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.

- Tipo de suelo según su textura (Ts). El análisis de este criterio está relacionado con la porosidad y la permeabilidad del suelo. En general, en suelos con textura gruesa, es decir, arenosos, se dan buenos niveles de recarga hídrica; por el contrario, en suelos arcillosos o de textura fina la recarga hídrica es menor así las pendientes sean bajas.
- Permeabilidad de las rocas (Tr). Este criterio está relacionado directamente con la textura del suelo, aunque su alcance es mayor, pues, no solo se analiza la capa superficial, sino que tiene en cuenta las capas profundas de acuerdo con la permeabilidad de las formaciones geológicas predominantes en el área de influencia.
- Porcentaje de la cobertura vegetal (Cve). De acuerdo con la metodología utilizada, este criterio representa “un factor que influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota lluvia de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo eso contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica”.

Para su estimación utilizaron las herramientas de teledetección a través del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que hace uso de las bandas 4 (Rojo visible -R-) y 8A (Infrarrojo cercano -NIR-) de imágenes satelitales, se utilizó la 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. Las imágenes se procesaron en el software Qgis 3.10, y se les realizó la corrección atmosférica respectiva. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

La interpretación de los resultados se presenta en la Tabla 2-49.

**Tabla 2-49. Valoración de los resultados del cálculo del NDVI.**

Rango NDVI	Porcentaje (%)	Tipo de Cobertura Vegetal
0.80<NDVI<1	80-100	Vegetación muy densa y vigorosa
0.50<NDVI<0.80	50-80	Vegetación abundante y vigorosa
0.30<NDVI<0.50	30-50	Vegetación dispersa o poco vigorosa
0<NDVI<0.30	0-30	Suelos desnudos o vegetación muerta
-1<NDVI<0	0	Aguas o cubiertas superficiales

*Fuente: Matus et al, 2009*

- Uso del suelo (Us). Este criterio puede ser muy cambiante a lo largo del tiempo debido a que puede ser influenciado por las actividades humanas. Así, una zona con bajas pendientes, suelos porosos y formaciones geológicas permeables pueden

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

tener una recarga hídrica mínima o nula si sobre ésta existe una obra civil que impida la infiltración de agua.

Finalmente, se presenta en la Tabla 2-50 la ponderación de cada uno de los criterios propuestos en la metodología de Matus, Faustino y Jiménez<sup>65</sup>.

**Tabla 2-50. Variables y evaluación de zonas de recarga.**

<b>Pendiente (Pend)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>%</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
Planos a casi planos	0-6	5	Muy Alta
Moderadamente ondulados	6-15.	4	Alta
Ondulados/cóncavos	15-45	3	Moderada
Escarpados	45-65	2	Baja
Fuertemente escarpados	>65	1	Muy Baja
<b>Tipo de Suelo (Ts)</b>			
<b>Textura</b>		<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
Suelos franco-arenosos a arenosos.		5	Muy Alta
Suelos francos		4	Alta
Suelos franco-limosos		3	Moderada
Suelos Franco arcillosos		2	Baja
Suelos arcillosos		1	Muy Baja
<b>Tipo de roca (Tr)</b>			
<b>Textura</b>		<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados		5	Muy Alta
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre sí, ej arenas finas.		4	Alta
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si		3	Moderada
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si		2	Baja
Rocas impermeables		1	Muy Baja
<b>Densidad de la cobertura vegetal permanente (Cve)</b>			
<b>Porcentaje</b>		<b>Ponderación</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
>80%		5	Muy Alta

<sup>65</sup> MATUS, Oscar; FAUSTINO, Jorge y JIMÉNEZ, Francisco. 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.: 3	2024-08-09

70-80%	4	Alta
50-70%	3	Moderada
30-50%	2	Baja
<30%	1	Muy Baja
<b>Uso de suelo (Us)</b>		
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas	5	Muy Alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	4	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	3	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	2	Baja
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	1	Muy Baja

*Fuente: Matus et al, 2009*

Para calcular el potencial de recarga hídrica se emplea la siguiente ecuación:

$$ZR = (0,27 * Pend) + (0,23 * Ts) + (0,12 * Tr) + (0,25 * Cve) + (0,13 * Us)$$

El valor obtenido mediante la ecuación anterior se clasifica en un rango de posibilidades de recarga hídrica, el cual se detalla en la Tabla 2-51.

**Tabla 2-51. 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: Matus et al, 2009*

### 2.3.3.1.8 Geotecnia

- Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de ellas de acuerdo con el grado real o susceptibilidad de ocurrencia por remoción en masa. Para el caso de este proyecto, la zonificación geotécnica presenta el mismo objetivo y alcance de la susceptibilidad por procesos erosivos y de remoción en masa, ya que parten de las mismas variables, categorías y ponderación utilizadas.

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.

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 incluido el sistema de transmisión de energía, los bienes y servicios.

Para el área de influencia abiótica, las variables seleccionadas fueron las mismas usadas para hallar la susceptibilidad de procesos erosivos y de remoción en masa: pendiente, unidad geológica, amenaza sísmica, unidad geomorfológica, precipitaciones, coberturas de la tierra, densidad de la red de drenajes y la unidad hidrogeológica.

Para el mapa final de la zonificación geotécnica, las categorías se presentan en términos de estabilidad geotécnica, la cual es inversamente proporcional a la sensibilidad por ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa. La categorización de la zonificación geotécnica en términos de sensibilidad y su equivalencia en términos de estabilidad geotécnica se presenta en la Tabla 2-52.

**Tabla 2-52. Categorías de susceptibilidad para el análisis de las variables.**

Sensibilidad a la ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa	Categorías de estabilidad geotécnica
Muy baja	Muy alta
Baja	Alta
Media	Media
Alta	Baja
Muy alta	Muy baja

*Fuente: SAG, 2024*

La zonificación geotécnica se desarrolla en términos de estabilidad Muy Alta, Alta, Media, Baja o Muy Baja para el área de influencia abiótica. Los valores se obtuvieron mediante una 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 2-53.

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

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 2-53. Pesos asignados 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 2-54 muestra los rangos de estabilidad establecidos.

**Tabla 2-54. 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>66</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:

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

Donde:

- **ID:** índice de factores detonantes

<sup>66</sup> SGC. 2017

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- **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.

- **Caracterización geotécnica**

A partir del estudio de suelos y recomendaciones de diseño entregadas por la parte técnica del proyecto, se realizó la descripción de las características geomecánicas de los suelos de los sitios de obras con sus respectivos soportes de ensayos y análisis de laboratorio.

#### 2.3.3.1.9 Atmósfera

Para la caracterización del componente atmosférico se siguió la metodología descrita en la normatividad actual y los TdR-017 de 2018, específicamente los siguientes documentos con pocas variaciones.

- a) Resolución MADS 2254 del 1 de noviembre de 2017 por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones – Calidad del aire.
- b) Resolución MAVDT (hoy MADS) 2154 del 2 de noviembre de 2010, por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones – Calidad del aire.
- c) Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire parte del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire – Calidad del aire.
- d) Resolución MAVDT (hoy MADS) 627 del 7 de abril de 2006, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental – Ruido.

Los siguientes apartados describen la metodología seguida para cada uno de los aspectos caracterizados:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

En cuanto a las fuentes de emisiones atmosféricas se realizaron dos actividades, identificación de fuentes y estimación de las emisiones de contaminantes criterio, se identificaron el mayor número de fuentes posibles con información secundaria:

Para identificar las fuentes de emisiones atmosféricas presentes en el área de influencia directa abiótica, se reconocieron las fuentes cercanas a los puntos de monitoreo de calidad de aire.

La cuantificación o estimación de las emisiones solo se realizó para las vías y accesos para las cuales se incluyó el proceso de resuspensión (con factores de emisión del AP-42<sup>67</sup> de la EPA – Environmental Protection Agency de EE.UU o del NPI de Australia)<sup>68</sup> y las emisiones de fuentes móviles (mediante el modelo IVE - International Vehicle Emission Model).

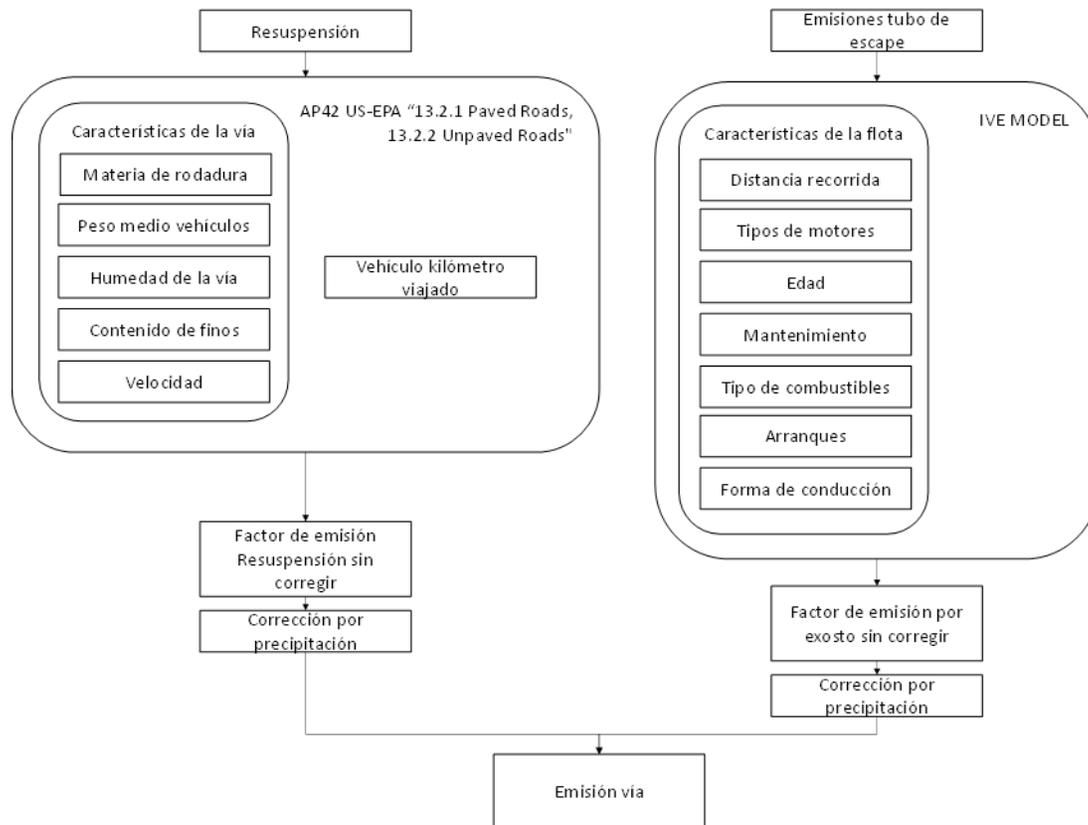
Fuentes lineales (Fuentes móviles): Para este tipo de fuente se realizó identificación y cuantificación de emisiones atmosféricas, la identificación se realizó con cartografía, definiendo las capas de los accesos y de la vía, según lo establecen en los TdR; para las fuentes móviles el principal insumo fueron los aforos vehiculares. En la Figura 2-15 se presenta el esquema de estimación de emisiones por resuspensión y tubos de escape.

La información de las longitudes de las vías dentro del AI, junto con la información primaria y secundaria de la flota vehicular, valores recomendados del NPI (National Pollutant Inventory) del gobierno de Australia, valores promedio de día de lluvia para la zona, factores de emisión del AP42 de la EPA y del NPI fueron usados para estimar las emisiones de las vías por dos procesos:

Resuspensión – Cuando un vehículo avanza, los neumáticos de este ejercen una fuerza en dirección opuesta sobre el suelo, el suelo contiene un material de rodadura que puede ser afirmado (vía sin pavimentar) o pavimento, en cualquiera de los dos casos y con mayor o menor medida, el vehículo levanta con dicha fuerza el material (polvo) con el que tiene contacto en el material de rodadura. Estudios de análisis dimensional con métodos estandarizados llevados a cabo por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) mostraron la dependencia proporcional de las emisiones con la variable Vehículo Kilometro Viajado (VKT) y con características de la vía como: peso promedio de los vehículos, contenido de humedad del material depositado en la rodadura, contenido de finos (pasa malla 200) del material de rodadura y velocidad entre otros; los datos del estudio fueron convertidos a fórmulas por regresión a factores de emisión que pueden ser extrapolados a otras vías con comportamientos similares; las fórmulas de los factores de emisión obtenidos por los estudios fueron resumidos y publicados como parte del AP42 de la US EPA específicamente en las secciones 13.2.1 Paved Roads y 13.2.2 Unpaved Roads.

<sup>67</sup> US EPA. Air Emissions Factors and Quantification [En Línea]. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors [En Línea]. <<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>>. Enero de 2011>. [Consultado: 7 de marzo de 2018].

<sup>68</sup> US EPA. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Miscellaneous Sources, Fugitive Dust Sources, 13.2.1 Paved Roads [En Línea]. [PDF]. <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>>. Enero de 2011. . [Consultado: 7 de marzo de 2018].



**Figura 2-15. Cálculo de emisiones por fuentes lineales.**

*Fuente: SAG, 2024*

**Fuentes dispersas:** Normalmente estas fuentes pueden ser difíciles de identificar y muy variadas, según recientes estudios, como el de Chacón Rivera<sup>69</sup>, una de las principales fuentes de este tipo que pueden afectar la calidad del aire a grandes distancias en ambientes rurales e inclusive urbanos, son los incendios, bien sea controlado como quemas agrícolas o los no controlados. El proyecto FIRMS<sup>70</sup> (Fire Information for Resource Management System); el cual distribuye datos de incendios activos en tiempo casi real (NRT) dentro de las 3 horas de la observación del satélite del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) y del conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS), con resolución de 1 km y 337 m respectivamente; fue utilizado para identificar si en los años anteriores se presentaron este tipo de fuentes, de igual forma se realizó reconocimiento de fuentes cercanas a los puntos de monitoreo de calidad de aire,

<sup>69</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>70</sup> NASA Fire Information for Resource Management System [En línea] <<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#z:3;c:0.0,0.0;d:2019-03-25..2019-03-26>>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

durante la campaña de monitoreo, y además se incluyó información secundaria de las posibles fuentes de emisión en la región de estudio. Este tipo de fuentes solo se identificaron, debido a la falta de información precisa que permitiera una adecuada cuantificación de los contaminantes emitidos fueron excluidas del inventario de emisiones atmosféricas

Un factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmosfera con una actividad asociada con la emisión del contaminante. Estos factores son usualmente expresados como la masa de contaminante emitido por una unidad de masa, volumen, distancia o duración de la actividad que emiten los contaminantes (ejemplo kilogramos de material particulado emitido por mega-gramo de carbón quemado). En la mayoría de los casos estos factores de emisión son promedios simples de todos los datos disponibles con calidad aceptable y son generalmente asumidos representativos de promedios largos de tiempos para todas las instalaciones en la categoría de la fuente.

La ecuación general para la estimación de emisiones es:

$$E = A \times EF \times (1-ER/100)$$

Dónde:

- E: Tasa de Emisión
- A: Nivel de actividad (p. ej. producción, cantidad de vehículos, área expuesta, etc.)
- EF: Factor de Emisión (generalmente se expresa en unidades de masa de contaminante por unidad de nivel de actividad)
- ER: Eficiencia general de reducción de emisiones (%)

La cantidad de material particulado emitido por la resuspensión o perdida de material de rodadura debido al viaje de los vehículos sobre una vía pavimentada (PavedRoad –PVR) seca puede ser estimada usando la siguiente ecuación:

$$E_{PVR} = k (sL)^{0.91} (W)^{1.02}$$

Dónde:

- EPVR: Factor de emisión de material particulado (con las mismas unidades de k),
- K: Factor multiplicador para el tamaño de partículas (PM10=0.62 g/VKT – PM2.5=0.15 g/VKT)
- VKT: Vehículo kilometro viajado
- sL: Contenido de finos de la vía(g/m2)
- W: Peso promedio ponderado de los vehículos que viajan en el periodo (tons)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

El contenido de finos se tomó como el dato por defecto del NPI del gobierno de Australia 0.4 g/m<sup>2</sup>. El peso promedio ponderado fue el resultado de los aforos vehiculares asignando pesos de referencia para los tipos de vehículos. El número de viajes, que permitió estimar el VKT, se estableció según el aforo vehicular y el TPD.

La cantidad de material particulado emitido por la resuspensión o pérdida de material de rodadura debido al viaje de los vehículos sobre una vía sin pavimentar (UnPavedRoad – PVR) seca puede ser estimada usando la para vehículos que viajan por vías públicas dominadas por tráfico liviano según la siguiente ecuación.

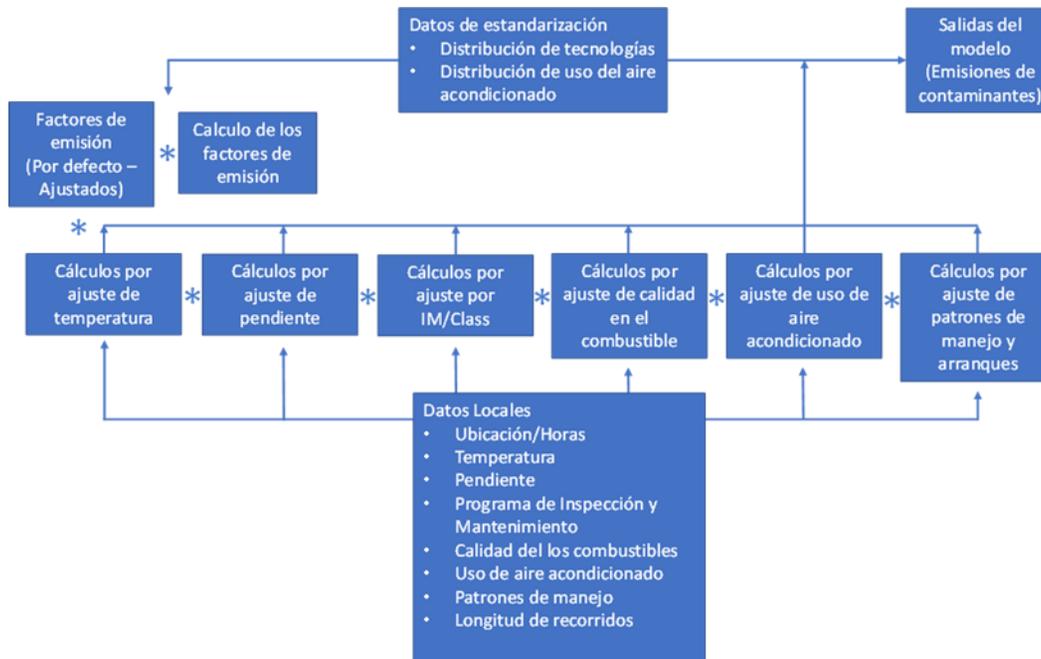
$$E_{UPVR} = 281.9 * \left( \frac{k * \left(\frac{S}{12}\right)^a * \left(\frac{S}{30}\right)^d}{\left(\frac{M}{0.5}\right)^c} - C \right)$$

Dónde,

- EUPVR: Factor de emisión para la fracción específica (lb/VKT)
- K: (PM10= 1.8 PM2.5=0.18), a: 1, c: 0.2 y d: 0.5. Constantes empíricas
- s: Contenido de finos de la superficie (%)
- W: Peso promedio ponderado de la flota (tons)
- M: Contenido de humedad del material de la superficie (%)
- S: Velocidad promedio (mph)
- C: factor de emisión para el tubo de escape, frenos y desgaste de llantas para de la flota vehicular de 1980 (PM10=0.00047 PM2.5=0.00036)

Las emisiones fueron atenuadas por el proceso natural de precipitación según el tipo de vía (pavimentada o sin pavimentar) con las recomendaciones del AP42.

Emisiones del tubo de escape – los combustibles fósiles usados en las fuentes móviles generan emisiones atmosféricas que suelen ser de difícil estimación. Estudios han mostrado que estas dependen de la distancia recorrida, el tipo de tecnología usada en los motores, los controles de pruebas técnicas recurrentes, el mantenimiento de los vehículos, la edad de la flota vehicular, los arranques, el tipo de combustible, la forma de manejar, el tipo de vehículo, etc... Diferentes organismos han realizado modelos empíricos y semi-empíricos a razón de correlacionar la menor cantidad de variables que permitan una adecuada estimación de las emisiones. Para este estudio se usó el modelo IVE desarrollado en conjunto por investigadores en el ISSRC (International Sustainable Systems Research Center) y la universidad de California en Riverside. Este modelo usa la distribución de las tecnologías locales, factores de manejo basados en potencia, distribución de los arranques y factores meteorológicos para ajustar el modelo a condiciones locales (ver Figura 2-16).



**Figura 2-16. Estructura del modelo IVE.**

*Fuente: ISSRC, 2005*

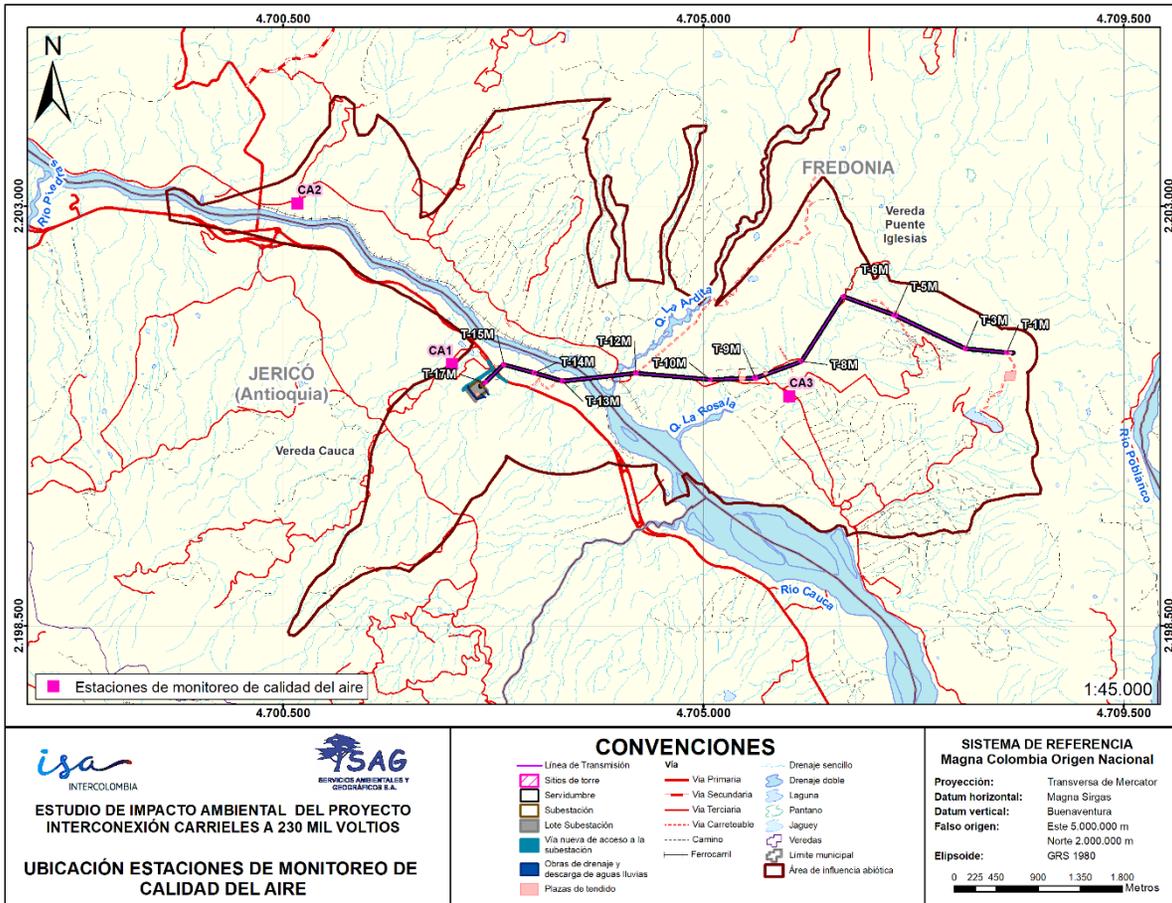
- Calidad del aire (Información de Inmisión)

El proyecto no requerirá permiso de emisiones atmosféricas en ninguna de sus fases, no obstante, se adelantó una campaña de monitoreo de calidad del aire con el propósito de definir las condiciones a nivel de inmisión que se presentan en la zona de futuras obras, donde posiblemente se evidenciarán con mayor intensidad los impactos sobre el medio.

La campaña de monitoreo se desarrolló siguiendo lo dispuesto en la normativa ambiental de calidad del aire, esto es, en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire y la Norma de calidad del aire ambiente. La campaña de monitoreo se efectuó 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., y se analizaron los contaminantes: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>.

En la localización espacial de las estaciones de monitoreo en el área de influencia, intervinieron criterios como, la representatividad espacial y las zonas donde se ubicarán fuentes que podrían tener una potencial afectación a la calidad del aire, a nivel de micro localización se siguieron las disposiciones de ubicación referidas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en su Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, numeral 6.4.

En la [Figura 2-17](#) se muestra la localización geográfica de los puntos de monitoreo, así mismo, en la [Tabla 2 5](#) se relacionan las coordenadas de las estaciones:



**Figura 2-17. Distribución espacial de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 2-55. Localización geográfica de las estaciones rio monitoreo calidad del aire.**

Estación	Coordenadas Geográficas (GCS_WGS_1984)		Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
	Oeste	Norte	Este	Norte
CA-1	75°41'20.80"	5°48'55.62"	4.702.310	2.201.305
CA-2	75°42'14.75"	5°49'51.31"	4.700.658	2.203.024
CA-3	75°39'23.42"	5°48'44.91"	4.705.921	2.200.958

Fuente: SAG, 2024

**Receptores Sensibles**

 <p>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	 <p>INTERCOLOMBIA</p>
		<p>Rev. No.: 3    2024-08-09</p>

Se consideraron como receptores sensibles del área de influencia físico-biótica del proyecto (RS), los puntos identificados con infraestructura social, dando prioridad a los centros educativos, centros de salud y población cercana, todo esto a partir de la capa equipamientos del proyecto e inspección de ortofotos actualizadas del área de influencia.

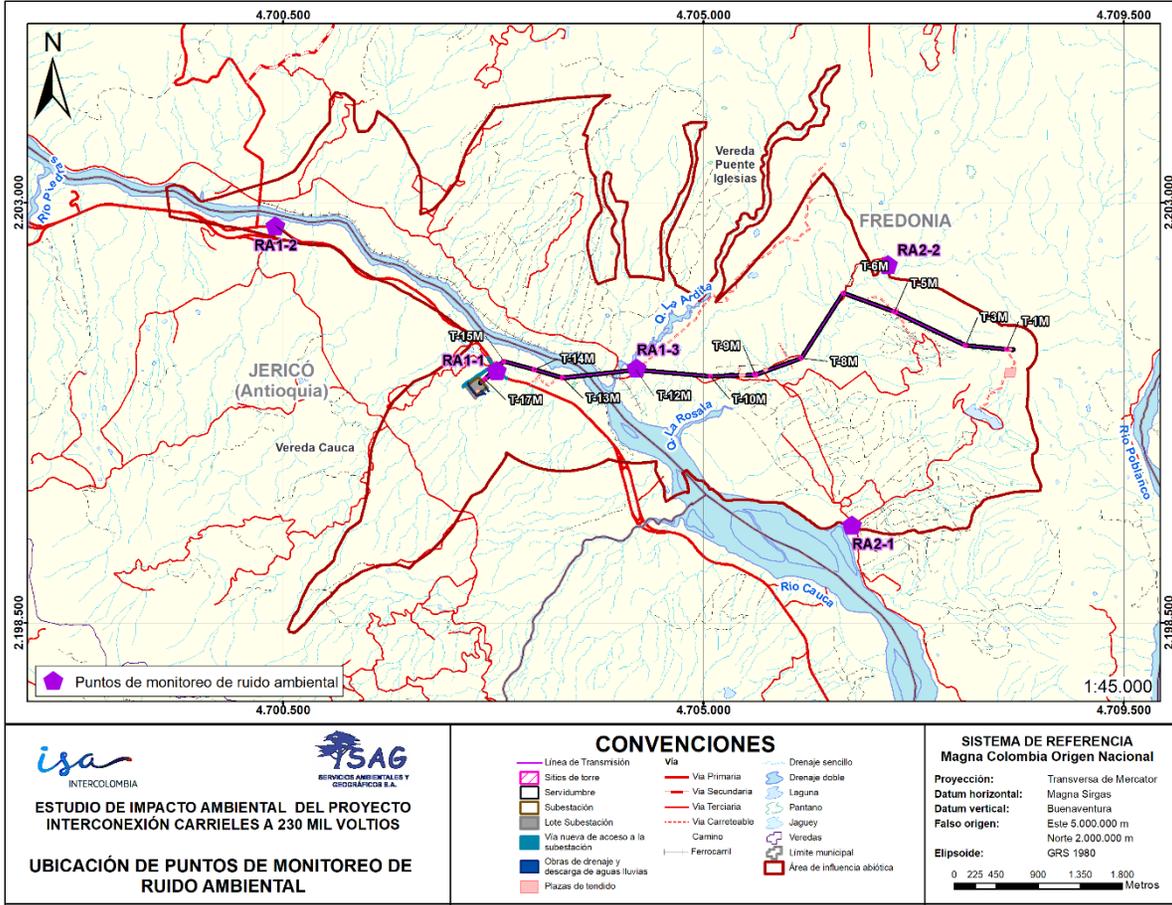
Para la identificación de posibles receptores sensibles dentro del área de influencia abiótica del proyecto, se usó información presente en el IGAC, se analizó la imagen satelital ImaSatDet11012022 de noviembre de 2022 con resolución de 50cm y número de bandas 3, a escala 1:10.000, en búsqueda de Hospitales, 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.

- Ruido

Los monitoreos se realizaron de acuerdo al procedimiento del Anexo 3 CAPITULO II Procedimiento de medición para ruido ambiental de la Resolución MADS 627 de 2006, siguiendo los procedimientos de análisis, presentación de reportes y correcciones de ajustes contenidos en la misma resolución. Las mediciones fueron adelantadas por el laboratorio SIAM Ingeniería SAS, laboratorio acreditado para tal fin ante el IDEAM. Cabe aclarar que se realizaron 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.

En concordancia con lo descrito en el Artículo IV de la Resolución 0627 de 2006, el intervalo unitario de tiempo de medida T es de una hora, la cual puede ser medida de forma continua o con intervalos de tiempos distribuidos uniformemente hasta obtener como mínimo quince (15) minutos de captura de información, los registros deben integrar 5 (cinco) mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales debe tener una posición orientada del micrófono así: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba.

En la Figura 2-18 se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo y en la Tabla 2-56 se presentan sus coordenadas.



**Figura 2-18. Localización de puntos de monitoreo de ruido ambiental.**

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 2-56. Localización geográfica de los puntos de monitoreo de ruido ambiental.**

Estación	Coordenadas Geográficas (GCS_WGS_1984)		Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
	Oeste	Norte	Este	Norte
RA1-1	75°41'05.21"	5°48'52.32"	4.702.790	2.201.201
RA1-2	75°42'22.42"	5°49'42.50"	4.700.421	2.202.754
RA1-3	75°40'16.57"	5°48'53.50"	4.704.287	2.201.230
RA2-1	75°39'1.32"	5°47'59.21"	4.706.594	2.199.551
RA2-2	75°38'49.28"	5°49'29.97"	4.706.978	2.202.338

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

- Modelación de Ruido ambiental

Como lo requieren los términos de referencia TdR-17 se realizó un modelo de ruido ambiental con software especializado que incluye los efectos meteorológicos y de topografía del terreno para la propagación del ruido, usando como indicador el LAeqDO (Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado con filtro A en día Ordinario en horario Diurno - DO) lo anterior dado que el proyecto solo operará en días ordinario y en horario diurno.

Según lo requieren los términos de referencia TdR-17 se desarrolló un modelo sin proyecto y con proyecto en fase de construcción y en fase de operación.

Para evaluar los niveles de afectación debido a incrementos en la presión sonora se realizó una simulación de ruido ambiental con el software especializado SoundPLAN Noise 9.0, en este son contemplados los efectos meteorológicos y de topografía del terreno para la propagación del ruido, usando como indicador el LAeqDO (Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado con filtro A en día Ordinario en horario Diurno - DO) lo anterior atendiendo que el proceso o fase de construcción sólo se realizará en horario diurno. Adicionalmente, se desarrollaron modelos sin proyecto (línea base) y con proyecto en fase de operación.

Uno de los principales objetivos de los modelos de ruido corresponde a disminuir la complejidad de la realidad que se pretende describir, esto permite llegar a una representación abstracta sin comprometer la precisión y exactitud de los resultados, por lo que se realizó una aproximación geométrica de todas las fuentes de ruido estimables más representativas de cada escenario, y las cuales se incluyen como parte integral del estudio en la geodatabase - GDB.

El modelo de cálculo usado para la estimación de la potencia acústica de las fuentes y la propagación del ruido producto de estas fue el método CNOSSOS-EU-2021, el cual mediante sus módulos permite estimar la emisión de ruido producto del tráfico vehicular mediante el uso de la información de volumen y composición de tránsito de las vías modeladas, y las fuentes de ruido relacionadas a la construcción del proyecto, mediante la potencia acústica de sus emisiones relacionadas, este método tiene en cuenta las condiciones que inciden en el comportamiento de la onda sonora, como clima, terreno, edificaciones y las características de atenuación del área de influencia.

El método CNOSSOS-EU parte de la suposición de cuando el ruido se propaga en espacios abiertos, este experimenta una serie de atenuaciones debido a diferentes fenómenos, por lo que cada uno de estos fenómenos son tratados de manera aislada, al final se computan en un único resultado como se observa en la siguiente ecuación:

$$L_p = L_w - A_{tot} \text{ [dB(A)]}$$

Dónde:

- L<sub>p</sub>: Representa el nivel de presión sonora en el receptor en decibeles.
- L<sub>w</sub>: Representa el nivel de potencia acústica del emisor en decibeles.
- A<sub>tot</sub>: Representa la atenuación total del ruido.

Aunque la formulación anterior puede parecer a primera vista simple, este no es el caso, ya que el modelo exige que se evalúen aisladamente los diferentes fenómenos por los cuales se atenúa el ruido, luego estas atenuaciones son sumadas para obtener la atenuación total A<sub>tot</sub>, en la siguiente ecuación se ilustra un resumen de dicho procedimiento.

$$A_{tot}=A_{div}+A_{atm}+A_{ground}+A_{diffraction}+A_{misc}$$

Dónde:

- A<sub>div</sub>: Atenuación por divergencia geométrica (acorde a la ley de inversa al cuadrado)
- A<sub>atm</sub>: Atenuación por la atmosfera (se considera para distancias grandes)
- A<sub>ground</sub>: Atenuación por el terreno.
- A<sub>diffraction</sub>: Atenuación por el fenómeno de la difracción (perdida por inserción de barreras).
- A<sub>misc</sub>: Atenuación miscelánea para otros tipos (fenómeno de reflexión, casas, vegetación, entre otros.)

Las salidas de información del modelo en cada escenario corresponden al aporte de las fuentes, estas fueron convertidas a ráster con objeto de realizar operaciones con las capas.

Las fuentes que se tuvieron en cuenta en cada modelo, así como los nombres que se asignaron a los ráster de salida se listan en la Tabla 2-57.

**Tabla 2-57. Modelo fuentes de ruido según escenarios y capas ráster de salida.**

Modelo	Fuente	Actividad	Ráster
Escenario sin proyecto	Vías existentes	Tráfico existente	LAeqMD1
Escenario de construcción	Vías existentes	Tráfico existente + Flota a usar en el proyecto	LAeqMD2
	Construcción	Actividades de construcción de la línea de transmisión	
Escenario de operación	Transformadores de potencia	Transporte de energía	LAeqMD3 - d y n

*Fuente: SAG, 2024*

La información del estado actual del AI a nivel de presión sonora fue calculada mediante un ráster dentro del AI con la siguiente ecuación:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

$$LAeq_{SP} = 10 * \log \left( 10^{\frac{LAeq_{MN}}{10}} + 10^{\frac{LAeq_{MD1}}{10}} \right)$$

Dónde:

- LAeq<sub>SP</sub>= Ráster del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para el escenario sin proyecto
- LAeq<sub>MN</sub>= Ráster del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para los monitoreos realizados o información secundaria
- LAeq<sub>MD1</sub>= Ráster del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A resultado del modelo para las fuentes idealizadas

El ráster será llevado a líneas de igual nivel de presión sonora – Isofonas – según la combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A), Anexo 5 Res-MADS-627/2006.

La información del estado proyectado del nivel de presión sonora fue calculada mediante un ráster dentro del AI teniendo en cuenta las fuentes de la Tabla 2-57 durante la fase de construcción con la siguiente ecuación:

$$LAeq_{CP} = 10 * \log \left( 10^{\frac{LAeq_{MN}}{10}} + 10^{\frac{LAeq_{MD2}}{10}} \right)$$

Dónde:

- LAeq<sub>CP</sub>= Ráster del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A resultado del modelo para el escenario de construcción.

El ráster fue llevado a líneas de igual nivel de presión sonora – Isofonas – según la combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A), Anexo 5 Res-MADS-627/2006.

La información de las capas de LAeq<sub>SP</sub> y LAeq<sub>CP</sub> fue comparada con los Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiental dados por el Artículo 17 de la Res-MADS-627/2006 y se evaluaron las zonas donde se esperan aumentos más allá de los límites normativos para el uso del suelo dado, así como los valores predichos para los receptores sensibles y sus posibles incrementos.

Las salidas de información del modelo en cada escenario corresponden al aporte de los distintos grupos de fuentes modelados y son presentados en curvas isófonas en formato shape para cada escenario.

- Aforos

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)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

aforo vehicular de 24 horas en tres puntos, tanto para el día hábil (ordinario) como no hábil (dominical), mediante la instalación de cámaras.

Se describieron los puntos de aforo presentando al ancho de la calzada, número de carriles, material de rodadura y pendiente, se clasificaron los vehículos por peso y tipo de combustible. Para las demás vías se extrapolaron los resultados considerando el comportamiento promedio de las vías aforadas.

### 2.3.3.2 Medio biótico

#### 2.3.3.2.1 Ecosistemas Terrestres

##### 2.3.3.2.1.1 Flora terrestre (Información secundaria)

Para identificar las especies vegetales potencialmente presentes en el Área de Influencia Biótica (AIB) del proyecto, se hizo una revisión de información secundaria que incluyó bases de datos especializadas como el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia<sup>71</sup>, Herbario Nacional Colombiano COL<sup>72</sup>, la taxonomía y nomenclatura de las especies fue corroborada a través de las bases de datos como The Plant List<sup>73</sup>, Internacional Plant Names Index<sup>74</sup> y World Flora Online<sup>75</sup>.

Adicionalmente, fueron consultados los resultados de flora, presentados en algunos documentos que permitieron complementar el listado de especies de flora epífita como lo son: el Plan para el estudio y la Conservación de las orquídeas en Colombia, algunas Resoluciones del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y estudios florísticos desarrollados en la zona.

##### 2.3.3.2.1.2 Flora terrestre (Información primaria)

###### 2.3.3.2.1.2.1 Biomas

Los biomas del Área de Influencia Biótica (AIB) se obtuvieron a partir de la información cartográfica del mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia, escala 1:100.00<sup>76</sup>, descargada del Sistema de Información Ambiental (SIAC). Esta información fue elaborada por el IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Parques Nacionales Naturales (PNN), IGAC y el MADS (2017). Dicha información fue cruzada con la ubicación específica del AIB del proyecto para describir los biomas presentes.

<sup>71</sup> Catálogo de Plantas y líquenes de Colombia [BERNAL, R.; GRADSTEIN, S.R. & M. CELIS (eds.). en línea]. <<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>>. [citado el 2 de abril de 2020].

<sup>72</sup> Colección Instituto de Ciencias Naturales ICN [en línea]. <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/> [citado el 5 de abril de 2020].

<sup>73</sup> The Plant List Version 1.1. [En línea] <http://www.theplantlist.org/> [citado el 2 de abril de 2020].

<sup>74</sup> The Internacional Plant Names Index [En línea] <http://www.ipni.org/> [citado el 5 de abril de 2020].

<sup>75</sup> World Flora Online [En línea] <https://www.worldfloraonline.org/>

<sup>76</sup> IDEAM. (2017). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. (M. y. Instituto de Hidrología, Ed.) Bogotá D.C

#### 2.3.3.2.1.2.2 Zonas de vida

Las zonas de vida presentes en el Área de intervención fueron obtenidas a partir de la capa de Zonas de vida del IDEAM actualizada en el año 2021.

#### 2.3.3.2.1.2.3 Ecosistemas

A partir de las capas de coberturas de la tierra escala 1:10.000 y los biomas obtenidos del Mapa de Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000, ambas interpretadas para el proyecto, se generaron los ecosistemas del AIB, utilizando en el software ArcGIS versión 10.8 la herramienta “Intersect”, la cual calcula una intersección geométrica de las entidades de entradas, las entidades corresponden a los shapes file de: coberturas de la tierra y biomas del AIB.

#### 2.3.3.2.1.2.4 Coberturas terrestres

Para la determinación de las coberturas terrestres se procedió a diferenciar polígonos con características similares respecto al color y la textura, a partir de la imagen satelital ImaSatDet11012022 de noviembre de 2022 con resolución de 50cm y número de bandas 3, a escala 1:10.000. Finalmente, se realizó la respectiva corroboración / verificación de coberturas en campo, de manera detallada para el AIB. La nomenclatura utilizada para denominar las coberturas fue “Corine Land Cover Colombia” adoptado por el IDEAM del año 2010, en La Leyenda Nacional de coberturas de la tierra.

Las salidas de campo se realizaron en varios periodos: año 2022 (entre el 18-23 de mayo y entre el 16-24 de noviembre), año 2023 (entre el 13-14 de febrero, entre 1-3 de marzo, 3 de mayo, entre el 8-22 de junio y el 5 de julio) y **año 2024 (11 y 12 de julio)**. Las salidas de campo fueron respaldadas por los permisos de recolección de SAG y H MV, los cuales se pueden consultar en el ANEXO\_2\_6\_PERMISO\_RECOLECCION. A continuación, en la Tabla 2-58 se muestra los rangos de fechas de los inicios de actividades empleados.

**Tabla 2-58. Inicios de actividades empleados.**

Permiso	Resolución	Fechas de inicio-final actividades	Grupos
<b>SAG</b>	<b>Res 0644 del 07 de abril de 2021</b>	11/05/2022 - 17/09/2022	Vegetación terrestre, epífitas, fauna y ecosistemas acuáticos
		16/11/2022 - 11/05/2023	
<b>H MV</b>	<b>Res 01061 del 16 de junio de 2020</b> <b>Res 00927 del 09 de mayo de 2022 (prorroga)</b>	08/06/2023 - 06/07/2023	Vegetación terrestre, epífitas, fauna y ecosistemas acuáticos
<b>SAG</b>	<b>Res 1154 del 06 de junio de 2023</b>	31/08/2023 - 03/12/2023	Vegetación terrestre, epífitas, fauna y ecosistemas acuáticos

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Permiso	Resolución	Fechas de inicio-final actividades	Grupos
		04/07/2024 – 09/08/2024	Vegetación terrestre, epífitas, fauna

*Fuente: SAG, 2024*

### 2.3.3.2.1.2.5 Caracterización florística

#### 2.3.3.2.1.2.5.1 Fase de campo

La caracterización del área de influencia biótica se realizó mediante la implementación de dos (2) metodologías, un inventario al 100% de individuos fustales (DAP >10cm), sobre las coberturas presentes en las áreas de obras del Proyecto [subestación, plazas de tendido, vías de acceso, infraestructura de drenaje y servidumbre (incluye sitios de torre)] y un inventario estadístico mediante el establecimiento de parcelas tipo RAP modificado por JAUM<sup>77</sup> (200 m<sup>2</sup>) en las áreas por fuera de las áreas de obras y que hacen parte del AIB. Cabe aclarar que en las áreas de obras del proyecto donde se realizó el inventario al 100%, posteriormente este inventario fue rediseñado a un inventario estadístico con la implementación de parcelas “virtuales” del mismo tamaño de las tipo RAP, lo anterior para poder calcular el error de muestreo con parcelas del mismo tamaño y en todas las coberturas vegetales presentes en el AIB.

Los individuos encontrados en ambas metodologías fueron georreferenciados y marcados con pintura asfáltica de color amarillo sobre el tallo (ver Fotografía 2-1 (b)). A cada individuo se le registraron variables dasométricas tales como: circunferencia a la altura del pecho (CAP) (ver Fotografía 2-1 (b), Figura 2-19 y Figura 2-20), altura total (Ht), altura comercial (Hc) (ver Figura 2-21) y diámetro de copa en dos (2) direcciones (ver Figura 2-22). Para los individuos que presentaban reiteraciones o varios fustes, éstas se marcaban con una letra en orden alfabético; es decir, el fuste con un CAP mayor sería la ramificación “a”, seguido por la “b” y así consecutivamente, según el número de ramificaciones presentes en cada individuo. La base de datos con los fustales inventariados y los respectivos cálculos se presentan en los anexos del capítulo 5.2.

<sup>77</sup> ISA-JAUM. Propuesta metodológica de parcelas normalizadas para los inventarios de vegetación. Equipo de investigación Convenio isa-jaum. Medellín. 2004. pp. 3-10.



**a. Toma de medidas de CAP**



**b. Marcaje de individuos**

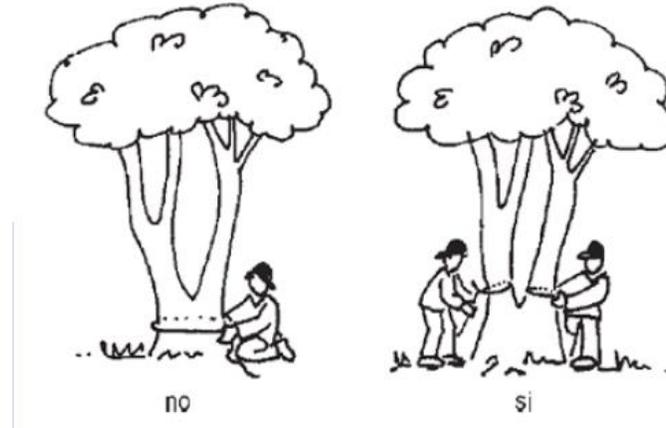
**Fotografía 2-1. Toma de medidas y marcaje de individuos.**

*Fuente: SAG, 2024*

Para el marcaje de los individuos, se asignó un código alfa-numérico, el cual está determinado según el equipo o cuadrilla (E, M, R, T, X, Y) y el número consecutivo de campo de cada individuo arbóreo dentro del muestreo (E1, E2, etc), si presenta reiteraciones, se agrega al final en minúscula (M246a, M246b).

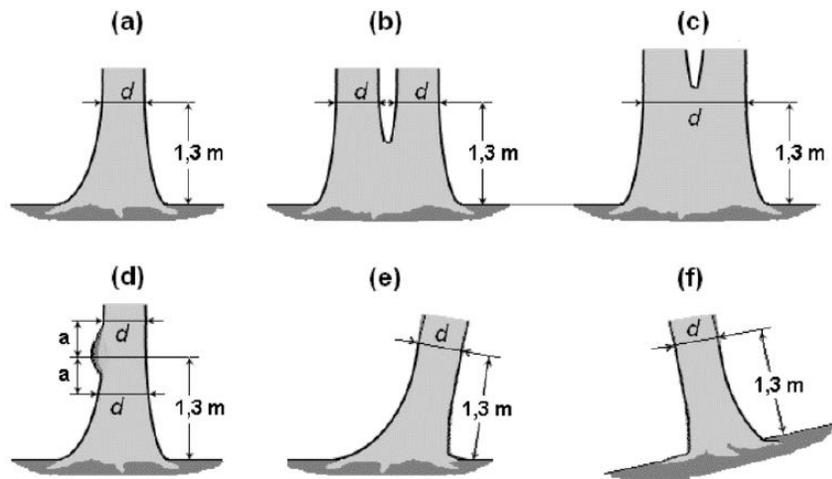
Dos parcelas en particular ubicadas en el Bosque fragmentado con vegetación secundaria, se marcaron con el consecutivo numérico y luego el nombre de la parcela, por ejemplo, 4PM2, que quiere decir que es el individuos 4 de la parcela PMA2.

Para una correcta lectura de la base de datos (ANEXO\_5\_2\_1\_BD\_FLORA\_FUSTAL, pestaña "BD"), sobre los registros de los individuos y sus reiteraciones en cada una de las parcelas "Parcela virtual", se deben tener en cuenta las columnas "ID" y "Reit". Para obtener el número de individuos de cada cobertura, se debe filtrar la letra "a" y "vacías" de la columna "Reit".



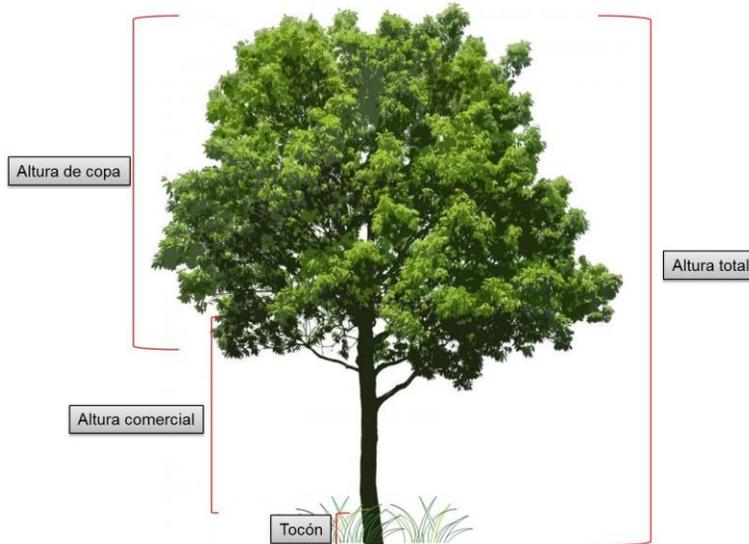
**Figura 2-19. Forma correcta de medir y marcar un fustal que posee dos reiteraciones por encima de los 1,3 m.**

*Fuente: Villarreal et al., 2004, modificado por SAG, 2021*



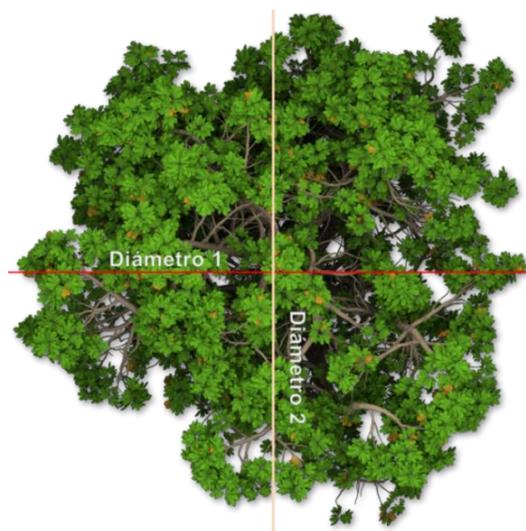
**Figura 2-20. Medición del CAP en diferentes situaciones: a) árboles rectos, normales y terreno plano; b) bifurcaciones bajo 1,3 m de altura en el fustal; c) árboles bifurcados sobre 1,3 m; d) árboles con defectos de altura de 1,3 m, e) árboles inclinados en terreno plano; f) árboles inclinados en terreno pendiente.**

*Fuente: Cancino 2006, modificado SAG, 2021*



**Figura 2-21. Alturas a tener en cuenta para el registro de fustales.**

*Fuente: Lema, 1979, modificado SAG, 2021*



**Figura 2-22. Forma de medir los diámetros de copa.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.2.1.2.5.2 Fase de herbario

Para las especies que no fue posible identificar en campo, se procedió a coleccionar una muestra botánica para su posterior identificación en el herbario de la Universidad de

Antioquia (HUA). Se registró en libretas de campo caracteres importantes como: exudado, olor, pubescencia, color, entre otros, que pueden perderse con la manipulación de la muestra.

Estas muestras se empacaron en bolsas plásticas transparentes individuales, con el objetivo de conservar sus caracteres morfológicos hasta el momento del prensado, y se rotularon con un código alfa – numérico, de manera que queden ancladas a la información suministrada en el formulario. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de prensado, el cual comienza con el montaje de cada una de las muestras sobre una hoja de papel periódico doblada a la mitad. Cada muestra fue debidamente etiquetada en la parte inferior de la hoja de periódico con el código alfa – numérico asignado en campo. Una vez finalizado este proceso, se agruparon y aseguraron con fibra de polipropileno o cabuya y por último, se depositó el paquete de muestras en una bolsa de polipropileno, en donde se alcoholizaron las muestras con alcohol industrial al 70%.

La colección botánica de las especies se encuentra amparada bajo la Resoluciones 00644 del 07 de abril de 2021, 1154 del 06 de junio de 2023, 01061 del 16 de junio de 2020 y 00927 del 9 de mayo de 2020, emitidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (ver ANEXO\_2\_6\_PERMISO\_RECOLECCION).

Los certificados de las respectivas identificaciones botánicas realizadas por el personal especializado del herbario, se presentan en el ANEXO\_5\_2\_9\_CERT\_HERB del Capítulo 5.2 Caracterización del Área de Influencia – Medio Biótico, Flora.

Para evaluar el estado fitosanitario de los fustales el estado fitosanitario, se procedió a realizar una calificación según su grado de afectación como Bueno, Regular o Malo.

#### 2.3.3.2.1.2.5.3 Fase pos-campo

Posterior a la fase de campo, se conformó una base de datos donde se registraron los datos de las variables medidas y estimadas en campo, la cual fue procesada por medio del programa Microsoft Excel.

A partir del CAP de cada individuo tomado en campo, se obtuvo el diámetro a la altura del pecho (DAP) en metros (m), con el cual se calculó el área basal (AB) en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y el volumen total y comercial en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), de todos los individuos muestreados (ver Tabla 2-59).

**Tabla 2-59. Ecuaciones para el análisis dasométrico y de volumen con los datos obtenidos en campo.**

Variable	Ecuación	Observaciones
<b>Diámetro a la altura del Pecho</b>	$DAP = \frac{CAP}{\pi}$	DAP: diámetro a la altura del pecho (cm) CAP: Circunferencia a la altura del pecho (cm)
<b>Área Basal</b>	$AB = \pi \left( \frac{DAP (cm)}{2} \right)^2$	AB: Área basal en m <sup>2</sup> D: diámetro a la altura del pecho (cm)

Variable	Ecuación	Observaciones
<b>Volumen total</b>	$VT = AB * AT * FF$	VT = Volumen total AB = Área basal (m <sup>2</sup> ) AT = Altura total del individuo muestreado (m) FF = Factor de forma (0,7)
<b>Volumen Comercial</b>	$VC = AB * AC * FF$	VC = Volumen comercial AB = Área basal (m <sup>2</sup> ) AC = Altura comercial del individuo muestreado (m) FF = Factor de forma (0,7)

Fuente: SAG, 2024

- Índice de Valor de Importancia (IVI)

Para estimar el peso ecológico de las especies vegetales se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada especie, el cual es el resultado de la sumatoria de la abundancia relativa (AR), la frecuencia relativa (FR) y la dominancia relativa (DR) según Fino<sup>78</sup> (ver Tabla 2-59).

**Tabla 2-59. Ecuaciones para el Índice de Valor de Importancia (IVI).**

Variable/índice	Ecuación
<b>Abundancia Relativa (AR)</b>	$AR = \frac{N^{\circ} \text{ individuos de una especie}}{N^{\circ} \text{ de individuos totales}} \times 100$
<b>Dominancia Relativa (DR)</b>	$DR = \frac{\text{Área basal por especie}}{\text{Área basal para todas las especies}} \times 100$
<b>Frecuencia Relativa (FR)</b>	$FR = \frac{N^{\circ} \text{ veces que aparece la sp } x}{N^{\circ} \text{ total de parcelas}} \times 100$
<b>Índice de Valor de importancia (IVI)</b>	$IVI = AR + FR + DR$

Fuente: SAG, 2024

- Distribuciones diamétricas y altimétricas

Las distribuciones diamétricas y altimétricas se determinaron por la relación entre los diámetros o las alturas y su frecuencia respectiva, en un bosque o rodal del cual se conoce su área basal<sup>79</sup>. En consecuencia, si se pretende reconocer y comprender íntegramente el estado actual de la estructura horizontal y vertical de las coberturas evaluadas, se hace

78 FINOL Hernán. 1976. Estudio Fitosociológico de las unidades II y III de la Reserva Forestal de Carapo, Estado de Barinas. Acta Botánica Venezuelica, 10(1-4):15-103

79 LEMA, A. 1995. Dasometría. Algunas aproximaciones estadísticas a la medición forestal. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

indispensable realizar histogramas de frecuencias diamétricas y altimétricas, dado que con estos se pueden observar fácilmente tres (3) propiedades fundamentales de una distribución: la forma, la tendencia central o acumulación y la dispersión o variabilidad<sup>80</sup>. El procedimiento se describe a continuación.

Se analizó la distribución de frecuencias y parámetros estructurales (DAP y Altura total), mediante el establecimiento de categorías que se determinan con los valores máximos y mínimos de todos los individuos en categoría fustal, además del número de individuos por cada parámetro. Los intervalos de clase o categorías se establecerán mediante la siguiente ecuación<sup>81</sup>:

**Tabla 2-60. Ecuación Amplitud de categoría.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Amplitud de categoría</b>	$C = \frac{X_{max} - X_{min}}{m}$	C: amplitud de categoría X: parámetro estructural n: número total de individuos m: número de intervalos = $1 + 3.3 \times \log n$

*Fuente: SAG, 2024*

- Grado de sociabilidad

El grado de sociabilidad de las especies se determinó a partir del índice de dispersión de Morisita ( $I\delta$ ), este índice incluye tanto la similitud en la composición de especies como la semejanza en sus abundancias<sup>82</sup>. Para la aplicación de este índice se siguió la metodología sugerida por Cabrera y Wallace<sup>83</sup> y Montañez *et.al.*,<sup>84</sup>:

**Tabla 2-61. Ecuación Índice de dispersión de Morisita.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Índice de dispersión de Morisita</b>	$I\delta = n \left[ \frac{\sum x^2 - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x} \right]$	$I\delta$ = índice de dispersión de Morisita n = número de parcelas x = número de individuos de la especie i $x^2$ = número de individuos de la especie i, en la parcela i, elevado al cuadrado

*Fuente: SAG, 2024*

80 PÉREZ, C. 2002. Estadística práctica con STATGRAPHICS®. Universidad Complutense de Madrid. Instituto de Estudios Fiscales. Madrid. 691 pág.

81 FINOL, H. 1971. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Rev. For. Ven. 13(21):29-42.

82 HAMMER. Op. Cit. 1-9

83 CABRERA Hector & Robert WALLACE. Densidad y distribución espacial de palmeras arborescentes en un bosque preandino-amazónico de Bolivia. Ecología en Bolivia 42(2): 121-135, 2007

84 MONTAÑEZ VALENCIA Ronald Alfonso; ESCUDERO VÁSQUEZ Carmen Yulit & DUQUE MONTOYA Álvaro Javier. Patrones de distribución espacial de especies arbóreas en bosques de alta montaña del departamento de Antioquia, Colombia. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, Vol 63(2) p. 5629-5638. 2010

Este índice emplea los valores críticos de uniformidad (Mu) y agrupamiento (Mc), para ser utilizados en la homogeneidad del índice estandarizado de Morisita (Ip):

**Tabla 2-62. Ecuación valores críticos de uniformidad y agrupamiento.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Valor crítico de uniformidad</b>	$M_{\mu} = \frac{x_{0,975}^2 - n + \sum x_i}{(\sum x_i) - 1}$	Mu = Uniformidad $X^2_{0,975}$ = Valor de Chi-cuadrado con n-1 grados de libertad y con 97,5% intervalo de confianza
<b>Valor crítico de agrupamiento</b>	$M_c = \frac{x_{0,025}^2 - n + \sum x_i}{(\sum x_i) - 1}$	Mc = Agrupamiento $X^2_{0,025}$ = Valor de Chi-cuadrado con n-1 grados de libertad y con 2,5% intervalo de confianza

Fuente: SAG, 2024

El índice estandarizado de Morisita (Ip) fluctúa de -1,0 a 1,0 con límites de confianza al 95%, denominando límite inferior a -0,5 y límite superior +0,5 determinando el grado de dispersión o patrón de distribución de las especies, donde patrones aleatorios dan un valor de Ip igual a cero; patrones agregados por encima de cero; patrones uniformes por debajo de cero. El Ip se calcula mediante los siguientes parámetros (Krebs, 1985).

Sí  $I\delta \geq M_c > 1$  entonces se aplica la ecuación:  $Ip = 0,5 + 0,5 \left( \frac{I\delta - M_c}{n - M_c} \right)$

Sí  $M_c > I\delta \geq 1$  entonces se aplica la ecuación:  $Ip = 0,5 \left( \frac{I\delta - 1}{M_c - 1} \right)$

Sí  $1 > I\delta \geq M_u$  entonces se aplica la ecuación:  $Ip = 0,5 \left( \frac{I\delta - 1}{M_u - 1} \right)$

Sí  $1 > M_u > I\delta$  entonces se aplica la ecuación:  $Ip = -0,5 + 0,5 \left( \frac{I\delta - M_u}{M_u} \right)$

- Perfiles de la vegetación

El perfil de la vegetación es el esquema de una franja de bosque o pastos arbolados que pretende ilustrar el número de estratos, su altura y su cobertura. A partir del muestreo realizado y los valores obtenidos de las cinco (5) primeras especies reportadas en el índice de valor de importancia (IVI) y las alturas totales promedio para cada una de ellas, se realizó un esquema de la vegetación por cada cobertura vegetal, donde mediante gráficas de un segmento de cada cobertura se presente la estructura vertical.

- Índices de diversidad y riqueza

La medición de la biodiversidad es importante, dado que permite conocer patrones de distribución, tanto espacial como temporal, además sirven como indicadores de la situación

puntual y la dinámica ecológica de los ecosistemas<sup>85</sup>. Se aclara que se evaluaron especies principalmente sembradas, lo que se vería reflejado en los resultados de los diferentes índices, tal como se reflejan en ambientes antropizados como jardinerías y otros espacios verdes urbanos.

- Diversidad alfa

Para evaluar la diversidad alfa ( $\alpha$ ) de la zona de estudio, se calcularon los índices de diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D$ ) y el cociente de mezcla ( $CM$ ), Menhinick ( $D_{Mn}$ ) y Margalef ( $D_{Mg}$ ) (ver Tabla 2-63). Estos índices se basan en la abundancia relativa de las especies, es decir, en el número total de individuos por especie y en el número de especies en cada cobertura analizada<sup>86</sup>.

**Tabla 2-63. Ecuaciones de Diversidad Alfa.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Índice de Simpson (D)</b>	$D = \sum \left( \frac{ni}{N} \right)^2$	$ni$ : Número de individuos de la $i$ -ésima especie $N$ : Número total de individuos
<b>Diversidad de Shannon-Wiener (H)</b>	$H = - \sum i \left( \frac{ni}{N} \right) * \ln \frac{ni}{N}$	$ni$ : Número de individuos de la $i$ -ésima especie $N$ : Número total de individuos
<b>Índice de Menhinick</b>	$D (Mn) = \frac{S}{\sqrt{N}}$	$S$ : número total de especies presentes $N$ : Número total de individuos
<b>Índice de Margalef</b>	$D (Mg) = \frac{S - 1}{\ln (N)}$	$Ln$ : logaritmo natural (base e) $S$ : número total de especies presentes $N$ : Número total de individuos
<b>Cociente de Mezcla (CM)</b>	$CM = \frac{N}{S}$	$N$ = Número total de individuos en la cobertura $S$ = Número total de especies en la cobertura

Fuente: SAG, 2024

El índice de Simpson permite concluir como se distribuyen las dominancias de las especies estudiadas, valores cercanos a cero (0) indican una distribución heterogénea de las especies, y valores cercanos a uno (1) indican la dominancia de una o pocas especies en las coberturas vegetales.

El índice de diversidad de Shannon es utilizado para medir la abundancia proporcional de especies en un área determinada, y toma valores entre cero (0) y cinco (5), cero para áreas

<sup>85</sup> MAGURRAN, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.

<sup>86</sup> Vélez, G., & Fresneda, H. (1992). Diversidad florística en las comunidades Robledal y Rastrojo Alto, en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 45: 3-27.

poco diversas y cinco para áreas muy diversas. Normalmente valores inferiores a (H=2) se catalogan bajos en diversidad y superiores a (H=3) altos en diversidad.

El índice de Menhinick se utiliza para comparar muestras de diferentes tamaños y así reducir el efecto del número de individuos. Sin embargo, el índice no es independiente del tamaño de la muestra.

El índice de Margalef es utilizado para estimar la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. Valores cercanos o por debajo de 2 son típicos de ecosistemas con poca diversidad o antropizados, y en el caso contrario valores mayores a 5, con buena biodiversidad.

El Cociente de mezcla (CM), establece una relación entre el número de especies existentes y el número total de individuos. Permite tener una idea general de la intensidad de mezcla, es decir, de la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro del bosque<sup>87</sup>.

– Diversidad Beta

Para estimar la similitud florística entre las coberturas o la diversidad beta ( $\beta$ ), se calculó el índice de Jaccard (J), el cual se basa en la presencia-ausencia de especies en ensamblajes pareados<sup>88</sup>. Su evaluación, permite ver la similitud o diferencia existente entre las coberturas comparadas. Este índice se expresa como se muestra a continuación:

**Tabla 2-64. Ecuaciones de Diversidad Beta.**

Índice	Ecuación	Observaciones
Índice de Jaccard (J)	$J = \frac{C}{(A + B) - C}$	C son las especies compartidas A y B son las especies únicas en cada sitio

*Fuente: SAG, 2024*

- Análisis de Regeneración natural

Para realizar la caracterización de la regeneración natural en el área de influencia biótica, se establecieron parcelas de 5 x 4 m (20 m<sup>2</sup>) para el registro de individuos en las categorías de latizales y brinzales.

En cada parcela, se censaron los individuos dentro del rango de 1<DAP≤9,9 cm, discriminándolos de acuerdo a la categoría de brinzal (<5 cm) y latizal (entre 5 y 10 cm). Para los latizales se registró la circunferencia a la altura del pecho y la altura total de cada individuo, a lo largo de toda la parcela; para los individuos categorizados como brinzales,

<sup>87</sup> ALVIS GORDO, Jose F. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 2009, vol. 7, no 1, p. 115-122.

<sup>88</sup> Magurran, op. cit

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

se realizó un conteo por especies y se estimó la altura total en la subparcela. Estas parcelas se montaron con base en la metodología utilizada por Gentry<sup>89</sup>, denominada RAP (Rapid Assessment Plot) y modificada posteriormente por el Convenio ISA-JAUM<sup>90</sup>.

En la Tabla 2-65 se presentan las ecuaciones utilizadas para el análisis de la regeneración natural. La abundancia relativa se calculó de manera análoga a las del IVI para fustales censados con DAP < 10 cm. La frecuencia relativa corresponde al dato relativo de la frecuencia de una especie respecto a la sumatoria de todas las frecuencias para los individuos en las categorías de brinzales y latizales, y para la categoría de tamaño se utilizó la propuesta de Sabogal y posteriormente modificadas por Villarreal et al; 2004<sup>91</sup>. En la Tabla 2-66 se observan la categoría de tamaño en los que fueron dispuestos los individuos registrados en las parcelas de regeneración natural.

**Tabla 2-65. Ecuaciones para el análisis de la regeneración natural.**

Índice	Ecuación	Observaciones
Regeneración natural (Rn)	$Rn \% = \frac{(AR\% + FR\% + Ctr\%)}{3}$	Ab%: abundancia relativa de los individuos con DAP <10 cm.  Fr%: frecuencia relativa de los individuos con DAP < 10 cm.  Ct%: categoría de tamaño relativa de los individuos con DAP < 10 cm.
Abundancia relativa (AR)	$AR = \frac{N^{\circ} \text{ individuos de una especie}}{N^{\circ} \text{ de individuos totales}} \times 100$	-
Frecuencia relativa (FR)	$FR = \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\sum \text{de todas las frecuencias}} \times 100$	
Categoría de tamaño absoluto (Cta)	$Cta = VF_i * n_i + VF_m * n_m + VF_s * n_s$	VF: Valor Fitosociológico de la categoría de tamaño (i, m, s)  n: Número de individuos de la categoría de tamaño (i, m, s)
Categoría de tamaño relativa (Ctr)	$Ctr = \frac{Cta \text{ de una especie}}{\sum Cta \text{ todas las especies}} \times 100$	

89 GENTRY, Alwyn. 1982. Patterns of Neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.

90 ISA-JAUM. Propuesta metodológica de parcelas normalizadas para los inventarios de vegetación. Equipo de investigación Convenio isa-jaum. Medellín. 2004. pp. 3-10.

91 H. Villarreal, M. Álvarez, Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, A. M. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá', Colombia. 236 pp.

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 2-66. Categorías de tamaño para el análisis de la regeneración natural.**

Categoría de tamaño	Valores
Categoría 1	Individuos entre 0,1 y 1,50 m de altura
Categoría 2	Individuos entre 1,51 y 5 m de altura
Categoría 3	Individuos mayores de 5 m de altura

Fuente: SAG, 2024

- Error de muestreo

A partir de la información levantada en los dos (2) inventarios, se obtuvo un total de 98 parcelas distribuidas entre las diferentes coberturas sobre las cuales se realizó el cálculo de error de muestreo.

De acuerdo a lo anterior, se procedió a calcular el valor promedio del área basal (m<sup>2</sup>) por cada tipo de cobertura de la tierra, la varianza la Desviación Estándar que representa la desviación de los datos analizados. Con esta información se estimó el error de muestreo simple por cobertura, con una significancia del 5% (α =0,05) para todos los individuos con diámetro mayor o igual a 10 cm (de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1791 de 1996), obteniendo un porcentaje de error por debajo del 15%. Las ecuaciones se pueden consultar en la Tabla 2-67.

**Tabla 2-67. Ecuación para calcular el error de muestreo.**

Ítem	Ecuación	Observaciones
<b>Área basal total promedio de cobertura</b>	$Vp = \frac{\sum_{i=1}^n Vt_i}{n}$	Vp: Área basal total promedio de la cobertura de la tierra (m <sup>2</sup> /ha) Vt: Área basal total de cada cobertura de la tierra (m <sup>2</sup> /ha) n: Número de parcelas establecidas en cada tipo de cobertura de la tierra
<b>Varianza</b>	$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Vt_i - Vp)^2}{n - 1}$	S <sup>2</sup> : Varianza Vt: Área basal total (m <sup>2</sup> ) Vp: Área basal promedio (m <sup>2</sup> )
<b>Desviación estándar</b>	$S = \sqrt{S^2}$	S: Desviación Estándar S <sup>2</sup> : Varianza

Ítem	Ecuación	Observaciones
<b>Error de muestreo en porcentaje</b>	$E\% = \frac{S * t}{\sqrt{n} * Vp} * 100$	E%: Error de muestreo en porcentaje S: Desviación estándar t: Valor estadístico de t para (n-1) grados de libertad n: Número de parcelas Vp: Área basal total promedio (m <sup>2</sup> )

*Fuente: SAG, 2024*

- **Especies sensibles**

Se consultó el listado de las especies categorizadas como amenazadas en la Resolución 0126 de 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)<sup>92</sup> y la lista roja de especies de la UICN; adicionalmente, se revisaron los listados de especies vedadas a nivel nacional para determinar si en el área de intervención se encuentran especies con restricción de uso y aprovechamiento. [A nivel nacional \(Resolución 0316 del 7 de marzo de 1974, Resolución 0213 del 1 de febrero de 1977 y Resolución 0801 del 24 de junio de 1977\)](#) y [regional \(Resolución 040-RES2312-6645 del 14 de diciembre de 2023 y Resolución 040-RES2402-468 del 8 de febrero de 2024\)](#).

También se revisaron las especies que se encuentran en los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora- CITES, cuyo objetivo principal es asegurar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas de origen silvestre sea sostenible y no ponga en peligro su supervivencia.

Por último, se revisó la categoría de distribución que presenta la especie para determinar su endemismo, esta revisión se llevó a cabo en la página on line del Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

- **Biomasa y Carbono**

El estudio de la biomasa vegetal puede ser abordado principalmente por dos vías. Utilizando métodos indirectos no destructivos, que convierten el volumen del árbol directamente en un peso estimado de biomasa, estos varían en función de las condiciones de crecimiento y de desarrollo del rodal, o a través de métodos directos destructivos, como las ecuaciones de biomasa a partir de relaciones alométricas del árbol.

<sup>92</sup> MADS. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0126 del 6 de febrero de 2024. Por la cual se establece el listado de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el comité coordinador de Categorización de especies silvestres amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras determinaciones. Bogotá D.C., 2024. P. 1-70.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Para las coberturas objeto de estudio, se empleó un método indirecto, no destructivo, el cual consiste en utilizar funciones alométricas que arrojan resultados en kilogramos (kg) para cada individuo dependiendo de la zona de vida en que este se encuentre, y emplean como variables predictivas de la biomasa aérea al diámetro normal medido a 1,30 cm del suelo (D; expresado en cm) y la densidad de la madera (Dens.; expresada en g cm<sup>3</sup>) (ver Tabla 2-68).

**Tabla 2-68. Ecuación para la estimación alométrica**

Tipo de bosque	Ecuación alométrica
bs-T	$\exp(4,03962 + (-1,99104 \cdot \ln(D)) + (1,23665 \cdot \ln(D)^2) + (-0,12606 \cdot \ln(D)^3) + (1,28302 \cdot \ln(\text{Dens.})))$

Fuente : Phillips et al. IDEAM 2011

- Principales usos de las especies

Durante el muestreo en campo se preguntó a los auxiliares de campo de la zona, los nombres comunes de los individuos muestreados, así como los usos dados a cada especie en el sector. Adicionalmente, se consultó la información secundaria para la zona de interés.

#### 2.3.3.2.1.2.6 Plantas de hábito epífita, lianescente y líquenes

Para las especies flora epífita potencialmente presente en el AIB del Proyecto, se realizó una consulta de información secundaria a partir de bases de datos de: GBIF<sup>93</sup>, SiB Colombia<sup>94</sup>, Trópicos<sup>95</sup>, Catálogo de plantas y líquenes de Colombia<sup>96</sup>, Colombia diversidad biótica<sup>97</sup> entre otros. Esta consulta se realizó previo a las actividades de campo y durante el desarrollo del Proyecto. La búsqueda se llevó a cabo, realizando filtros por el departamento de Antioquia y los municipios de Jericó y Fredonia que son área de influencia del proyecto.

#### 2.3.3.2.1.2.6.1 Fase de campo

- Especies vasculares de hábito epífita

Para la caracterización de flora epífita se tuvo en cuenta tanto, la intensidad de muestreo propuesta por Gradstein y colaboradores 2003<sup>98</sup>, además de lo sugerido en la Circular 8201-

93 GBIF.org (2019), GBIF Home Page. Available from: <https://www.gbif.org> [6 August 2019].

94 SiB Colombia. Sistemas de información sobre biodiversidad de Colombia disponible en <https://sibcolombia.net/> y <http://datos.biodiversidad.co/search?family=Orchidaceae&county=Turbo>.

95 Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 6 Aug 2019 <<http://www.tropicos.org>>

96 BERNAL, R., S.R. GRADSTEIN & M. CELIS (eds.). 2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

97 RANGEL-CH., J.O. 2008. Riqueza y diversidad de los musgos y líquenes en Colombia. COLOMBIA DIVERSIDAD BIÓTICA VI

98 GRADSTEIN S.R., N.M. NADKARNI, T. KROMER, I. HOLZ & N. NOSKE. 2003. A protocol for Rapid and Representative Sampling of Vascular and Non-Vascular Epiphyte Diversity of Tropical Rain Forest. *Selbyana* 24(1): 105-111.

 <p>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	 <p>INTERCOLOMBIA</p>
		<p>Rev. No.: 3    2024-08-09</p>

2-808 del 9 de diciembre de 2019 emitida por el MADS. Además, se siguió lo sugerido por el instrumento “Cálculo de la representatividad del muestreo de especies en veda nacional bajo resolución 0213 de 1977 del INDERENA por cobertura de la tierra, para proyectos con área de intervención definida en el marco del licenciamiento ambiental”.

Para determinar la intensidad de muestreo se tuvo en cuenta las características propias de cada una de las unidades de cobertura de la tierra identificadas en campo. Esta intensidad de muestreo se planteó a partir del porcentaje potencial de área que tiene presencia de vegetación arbórea en cada cobertura de la tierra caracterizada (con base a lo especificado en la metodología coberturas de la tierra *Corine Land Cover* adaptada para Colombia<sup>99</sup>) y que por ende este porcentaje correspondió al área en la que se registraron forófitos<sup>100</sup>. La caracterización se realizará en las coberturas presentes en el área de intervención del Proyecto.

Para la caracterización de las especies epífitas se tuvo en cuenta algunos criterios que recomienda el MADS en la circular 8201-2-808 del 9 de diciembre (ver Tabla 2-69). Entre ellos se encuentran: seleccionar árboles con DAP  $\geq 10$  cm, forófitos con corteza rugosa y seleccionar árboles distantes entre sí. La ubicación de estos se realizó en aquellos lugares donde se realizó el inventario forestal para obtener de estos, la identificación, datos dasométricos y georreferenciación por parte del equipo forestal.

---

99 IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

100 Circular 8201-2-808 del 9 de diciembre de 2019. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**Tabla 2-69. Criterios de selección de forófitos.**

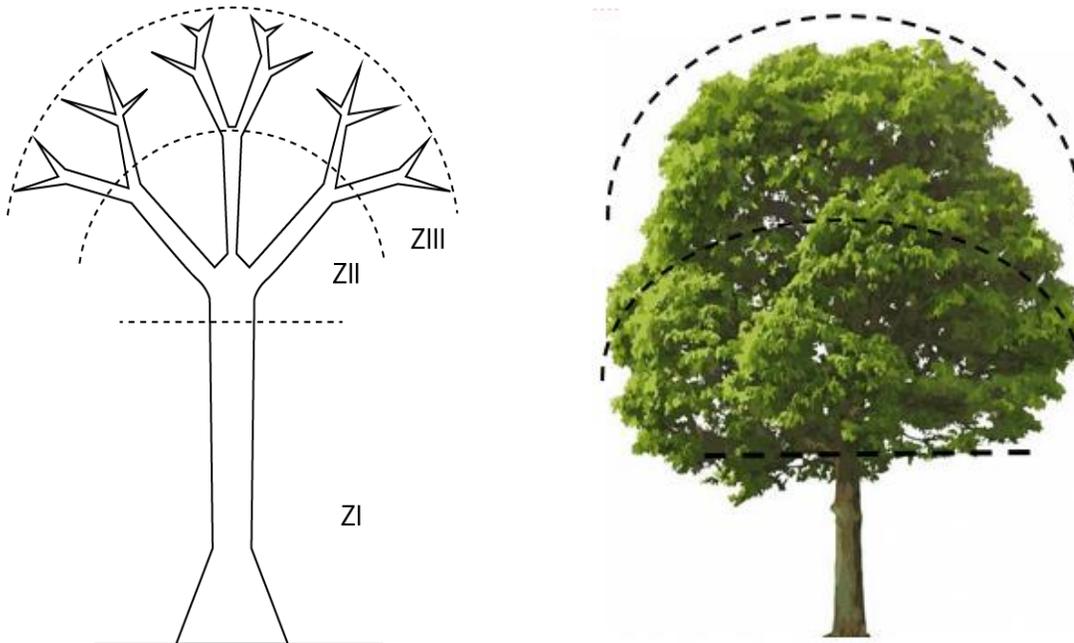
Variable	Medida	Observaciones y Excepciones
Altura	> 7m	En caso de no encontrar forófitos de este porte, se buscarán los individuos con las mayores alturas disponibles en la cobertura a caracterizar y se registra fotográficamente esta condición (por ejemplo, en arbustales)
DAP	>10 cm	Se procurará buscar los árboles con los mayores diámetros disponibles en la cobertura (p.e >5 cm)
Corteza		No exfoliable, rugosas
%epífitas	>40%	Se buscarán forófitos que presenten los mejores crecimientos
Distancia mínima entre árboles	25m	En caso de que estas distancias no se puedan cumplir por una condición particular del parche de vegetación a caracterizar, se buscarán individuos cuya separación no sea menor a 20 m
Copas		Idealmente con alta diversificación con horquillas horizontales

*Fuente: Circular 8201-2-808 del 9 de diciembre de 2019*

La determinación de la distribución vertical de las epífitas vasculares se estableció en 3 zonas dentro del árbol: Z I: comprende la base del tronco y tronco. Z II: parte basal de las ramas, conformada por la corona interna. Z III: Parte media y externa de las ramas, conformada por la corona media y externa de la copa del árbol. Dicha metodología correspondió a una modificación a la propuesta por Johansson<sup>101</sup>.

---

101 JOHANSSON, D. 1974. Ecology of vascular epiphytes in west African rain forest. *Acta Phytogeographica Suecica*. 59: 1–136.



**Figura 2-23. Estratificación de forófito (modificado de Johansson, 1974).**

*Fuente: SAG, 2024*

En cada zona se censaron las epífitas vasculares presentes, tomando los siguientes datos: especie epífita o morfotipo, número de individuos por especie, zonas en las cuales se encuentra presente, especie hospedero y registro fotográfico detallado y de alta resolución. Además, se tuvo en cuenta la presencia de lianas, bejucos a los cuales se les registró la misma información antes mencionada.

Es importante aclarar que, para este proyecto no se realizó trabajo en alturas, todas las observaciones se realizaron con personal en pie sobre el suelo.

Finalmente, se realizó colecta botánica de las morfoespecies no identificadas en campo, las cuales se procesaron teniendo en cuenta las técnicas necesarias de herborización, de manera similar que las plantas de hábito arbóreo.

- Especies de musgos, hepáticas y líquenes

En el caso de especies de briófitos y líquenes, se utilizó la misma unidad de evaluación de las epífitas vasculares. En cada árbol hospedero (forófito) se evaluaron musgos, hepáticas, antocerotes, y líquenes presentes en el tronco a partir de dos (2) cuadrículas de 20cm x 20cm, correspondiente a un área de 400 cm<sup>2</sup> según metodología presentada en la Circular 8201-2-808 del 9 de diciembre de 2019. La primera cuadrícula se dispuso en la base del tronco a una altura máxima de un metro, luego de reportar el área de colonización se tomaron muestras de cada morfotipo identificado, colocándolas en una bolsa de papel kraft. Las muestras de cada morfotipo fueron de aproximadamente de 3x3 cm y se procuró

colectar estructuras reproductivas. La segunda cuadrícula se ubicó a dos (2) metros de altura del tronco y de igual forma se reportó el porcentaje de colonización para luego tomar las muestras de los morfotipos identificados <sup>102</sup> <sup>103</sup> (ver Figura 2-24).



**Figura 2-24. Muestreo de epífitas no vasculares (musgos, hepáticas y líquenes).**

*Fuente: SAG, 2024*

Las muestras se depositaron en bolsas de papel, cada una rotulada con la información correspondiente al forófito, porcentaje del área de cobertura sobre el tronco, grupo taxonómico, cuadrícula y cobertura vegetal.

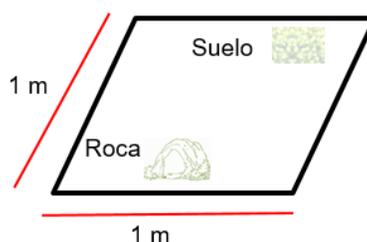
La colección botánica de las epífitas estuvo amparada bajo la Resolución 00644 del 7 de abril de 2021 y la Resolución 01061 del 16 de junio de 2020 prorrogada mediante Resolución 00927 del 09 de mayo de 2022, emitidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

- Especies rupícolas y terrestres

Para el muestreo de briófitos y líquenes de hábito rupícola y terrestre se implementó la metodología propuesta en la circular 8201-2-808 del 9 de diciembre de 2019, la que establece montar al menos seis (6) parcelas de 1 x 1 m por cada unidad de cobertura de la tierra. En cada unidad de muestreo se realizó el registro de las abundancias de las especies halladas en el área de la parcela por tipo de sustrato y grupo taxonómico (briofitos y líquenes) (ver Figura 2-25).

102 WATSUKI, Z. 1960. The epiphytic bryophyte communities in Japan. J. Hattori Bot. Lab., 22, 159-339.

103 PINZÓN, M., & LINARES, E. 2001. Catálogo comentado de los líquenes y briófitos de la región subxerofítica de la Herrera (Mosquera, Cundinamarca). Caldasia, 237-246.



**Figura 2-25. Esquema de evaluación de briófitos y líquenes por parcela.**

*Fuente: SAG, 2024*

Los briofitos fueron colectados manualmente y los líquenes, si son foliosos, se retiraron cuidadosamente con un cuchillo o cuchilla quirúrgica del sustrato con cuidado de retirar el talo y el prótalo; si eran crustosos o su talo estaba muy adherido a la roca, se tomó la muestra con el cincel y martillo común o con el martillo geológico, tratando de separar lajas pequeñas de roca donde se encontraba el espécimen, en este caso no fue necesario tomar una muestra completa de talo sino que se registra el porcentaje de cobertura en el cuadrante y se toma zonas representativas, por ejemplo con estructuras reproductivas.

Los briófitos y líquenes colectados en cualquiera de las ubicaciones fueron secados a temperatura ambiente antes de llevarlos al herbario para su correspondiente identificación y almacenamiento.

Adicionalmente, en estas mismas unidades de muestreo se realizó la caracterización de plantas vasculares en veda nacional de las familias Bromeliaceae y Orchidaceae de hábito terrestres. En cada parcela establecida y en caso de registrar especies se tomaron datos de morfoespecie, número de individuos, muestras botánicas en caso de desconocer las especies. Cada punto fue debidamente georreferenciado.

#### 2.3.3.2.1.2.6.2 Fase de herbario

- Especies vasculares de hábito epífita

Las muestras de plantas colectadas se guardaron en bolsas plásticas, se prensaron en papel periódico debidamente marcado y se alcoholizaron para su preservación hasta llegar al Herbario, donde se procedió con el secado. La identificación taxonómica de los especímenes colectados, se realizó utilizando literatura especializada para las familias botánicas, así como guías de campo, claves taxonómicas y listados de especies. Finalmente se utilizó el método de taxonomía comparativa con especímenes de referencia del Herbario y herbarios virtuales nacionales e internacionales COL, Field Museum Herbarium, Kew, STRI, entre otros.

- Especies de musgos, hepáticas y líquenes

Las muestras de briófitos y líquenes colectados y guardadas en bolsas de papel se dejaron abiertas a temperatura ambiente para facilitar el proceso de secado; este grupo de plantas son muy pequeñas y crecen entremezcladas, por esto es necesario el uso de estereoscopio

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

y pinzas de punta fina para realizar la separación de muestras. De cada espécimen separado, se elaboró una placa con el material necesario para la identificación a través de la observación en el microscopio óptico. Con la ayuda de claves, se identificó hasta la mínima categoría taxonómica posible, según la disponibilidad de claves y presencia de estructuras diagnósticas en cada colecta.

Para la clasificación taxonómica de los líquenes, las observaciones se realizaron en microscopio óptico a 10X, 40X o 100X, y los caracteres macroscópicos se observaron en estereoscopio.

Dependiendo del grupo de líquenes, se procede con diferentes técnicas para realizar la clasificación. Inicialmente se seleccionan por tipo de talo, folioso, fruticoso, o crustoso. Dependiendo del tipo de líquenes, es necesario realizar cortes de las estructuras reproductivas como histerios, apotecios, peritecios, entre otros, y observar en el microscopio características de color, tamaño y forma de las esporas; forma de estructuras reproductivas, como tipos de apotecios, carbonización (como en el género *Graphis*) etc., forma de las paráfisis. Igualmente es necesario realizar pruebas químicas de caracteres microscópicos en los apotecios como las pruebas de I+ con lugol, previo o no con KOH, observar estructuras, color de esporas, o teñir con diferentes colorantes como azul de lactofenol, verde malaquita, de acuerdo a cada grupo en particular.

En los diferentes grupos se realizan pruebas químicas para la identificación de ácidos como la prueba K (KOH 1M), prueba C (NaOCl al 1% v/v), prueba P (Parafenilamina), en algunos tejidos y células como la médula, el talo, el asco, las esporas y en el himenio, entre otros.

Los certificados de las respectivas identificaciones taxonómicas realizadas por el personal especializado del herbario, se presentan en el ANEXO\_5\_2\_17\_CERTIFICADO\_NV\_SAG y ANEXO\_5\_2\_16\_CERTIFICADO\_NV\_HMV del Capítulo 5.2 Caracterización del Área de Influencia – Medio Biótico.

#### 2.3.3.2.1.2.6.3 Catálogo de especies

- Especies vasculares de hábito epífita

Mediante los registros fotográficos tomados en campo y de las muestras de herbario, se realizó un catálogo de las especies epífitas y lianas registrados en el Proyecto utilizando como referencia el modelo del Museo de Historia Natural de Chicago (<https://fieldguides.fieldmuseum.org/>).

- Especies de musgos, hepáticas y líquenes

Mediante los registros fotográficos tomados en campo y de las muestras observadas bajo estereoscopio, se realizó un catálogo de las especies de líquenes y briófitos registrados en el Proyecto utilizando como referencia el modelo del Museo de Historia Natural de Chicago (<https://fieldguides.fieldmuseum.org/>).

Los catálogos de fotos obtenidas a partir de los registros in situ para las especies vasculares y durante el proceso de identificación taxonómica para las no vasculares, se presentan en: ANEXO\_5\_2\_15\_CATALOGO\_VASCULARES, ANEXO\_5\_2\_18\_CATALOGO\_LIQUENE

S y ANEXO\_5\_2\_19\_CATALOGO\_BRIÓFITOS del Capítulo 5.2 Caracterización del Área de Influencia – Medio Biótico.

2.3.3.2.1.2.6.4 Fase pos-campo

en esta fase se realizó el procesamiento de la información para las plantas epífitas, lianas (vasculares, no vasculares y líquenes) y terrestres

Toda la información tomada en campo se registró en una plantilla de Excel donde a partir de filtros, tablas dinámicas y fórmulas, se procedió con la obtención de datos de diversidad<sup>104</sup>, así:

- Diversidad alfa ( $\alpha$ )

Se refiere a la riqueza de especies de una comunidad homogénea. Los índices de diversidad alfa empleados son: riqueza específica, índice recíproco de Simpson e índice de Shannon.

- Riqueza específica

Este método se basa en la cuantificación del número de especies presentes. Para ello se estima la riqueza específica en toda el área muestreada y para cada una de las coberturas muestreadas.

- Índice recíproco de Simpson (1/D)

Es una medida del grado de concentración de los individuos; muestra la probabilidad de que dos (2) individuos tomados al azar de una muestra, correspondan a la misma especie. Este índice está fuertemente influenciado por la importancia de las especies más dominantes. La ecuación se muestra en la Tabla 2-70.

- Índice de Shannon (H)

Es un índice de equidad que se ve influenciado por las especies más abundantes. Considera tanto la riqueza de especies como su abundancia empleando una escala logarítmica. La ecuación se muestra en la Tabla 2-70.

**Tabla 2-70. Ecuaciones de Diversidad Alfa.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Diversidad de Shannon-Wiener (H)</b>	$H = - \sum i \left( \frac{ni}{N} \right) * \ln \frac{ni}{N}$	$ni$ : Número de individuos de la i-ésima especie $N$ : Número total de individuos
<b>Índice recíproco de Simpson (1/D)</b>	$\lambda = \sum pi^2$	$pi$ : abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra

Fuente: SAG, 2024

104 MORENO, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

- Diversidad beta ( $\beta$ )

La similitud o disimilitud expresa el grado de semejanza en composición de especies y sus abundancias en dos (2) muestras (comunidades).

El Índice de Jaccard: relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas (ver Tabla 2-71).

**Tabla 2-71. Ecuaciones de Diversidad Beta.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Índice de Jaccard (J)</b>	$J = \frac{C}{(A + B) - C}$	C son las especies compartidas o comunes A y B son las especies únicas en cada sitio

*Fuente: SAG, 2024*

- Análisis de representatividad de muestreo

Se realizó una curva de acumulación de especies para cuantificar la representatividad del muestreo por cada cobertura de la tierra evaluada. Este proceso se efectuó mediante el programa EstimateS 9.1.0<sup>105</sup> disponible en línea, donde se grafica en el eje Y las especies o la acumulación progresiva y en el eje X las unidades de muestreo. Es importante aclarar que se tuvo en cuenta aquellas unidades de muestreo que no evidencian presencia de especies.

*2.3.3.2.1.3 Análisis de fragmentación del hábitat y conectividad ecológica*

El análisis de fragmentación se realizó considerando los dos componentes de la conectividad: estructural y funcional. La conectividad estructural o espacial se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura, mientras que la conectividad funcional se refiere a la continuidad de los flujos ecológicos que se dan a través del paisaje<sup>106</sup>.

A continuación, se describe la metodología utilizada, tomando como análisis de conectividad estructural el análisis de fragmentación y como conectividad funcional el modelo de idoneidad de hábitat y rutas de conectividad para especies de fauna reportadas en el área de influencia del proyecto.

<sup>105</sup> COLWELL, Robert. K. 2013. EstimateS, Version 9.1.0: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples.

<sup>106</sup> TAYLOR, P.D.; FAHRIG, L. & WITH, K. 2006. Landscape connectivity: A return to basics. In: CROOKS, K.R. & SANJAYAN, M. (editors). Connectivity Conservation. Cambridge: Cambridge University Press, 2006, p. 29-43.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

### 2.3.3.2.1.3.1 Análisis de fragmentación

Para evaluar los patrones de fragmentación del área de influencia y a su vez la conectividad estructural del paisaje se trabajó con la herramienta V-Late (Vector based Landscape Analysis Tool Extension) del software ArcGIS versión 10.8, a partir de la valoración de diferentes métricas que son estimadas para cada una de las coberturas y con las cuales se obtienen datos del número de fragmentos, áreas, perímetros, forma, entre otros; los cuales permiten inferir en el estado ecológico en términos de conectividad y/o fragmentación del área de influencia; ya que según Vile *et al*<sup>107</sup> la forma, el número y la disposición de los elementos que componen el paisaje condicionan el dinamismo de la zona de análisis.

El análisis de las métricas del paisaje fue abordado en tres escenarios, los cuales corresponden a las coberturas terrestres delimitadas en el año 2015, coberturas terrestres en el 2021 y el estado con proyecto. Este último escenario corresponde a las coberturas que se contemplan en el año 2021 pero teniendo en cuenta la modificación de los polígonos que serán intervenidos con el desarrollo del Proyecto.

Para la totalidad de las coberturas terrestres se valoraron métricas de:

- Área y perímetro: Números de parches (NP), Área de clase (CA), Media del tamaño de los parches (MPS) y Radio de giro.

Adicionalmente, para las coberturas naturales del grupo de los bosques y territorios seminaturales se incluyó el análisis de métricas de proximidad, área de interior y conectividad correspondientes a:

- Forma: Media de la dimensión fractal (MFRACT), Índice medio de la forma (MSI).
- Área interior: Área de interior e índice de área de interior (CAI) evaluando bordes de 10, 20 y 50 m.
- Proximidad: Índice de proximidad en los radios de 10, 50 y 100 m.
- Índices de conectividad estructural, correspondiente al Contexto paisajístico (CP) y el tamaño efectivo de malla.

El CP se refiere a la conectividad del fragmento del ecosistema natural estudiado con otros fragmentos con coberturas naturales. Los valores de conectividad oscilan entre 0 y 1, los valores cercanos a 1 representan un mejor contexto paisajístico<sup>108</sup>. Para este proyecto la franja de referencia elegida correspondió a 500 m y se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$CP = \frac{AN}{ATF}$$

Dónde:

<sup>107</sup> Vile D, Shipley B, Garnier E. A structural equation model to integrate changes in functional strategies during old-field succession. *Ecology*. 2006; 87:504–517.

<sup>108</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y The Nature Conservancy. 2012. Manual del Usuario para la herramienta MAFE Versión 2 - Mapeo de Fórmulas Equivalentes. Convenio de Asociación No. 25 del 2012.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- CP=Contexto paisajístico
- AN=Área natural dentro de la franja
- ATF= Área total de la franja

El Índice de tamaño efectivo de malla es un índice inverso de la fragmentación; a mayor tamaño efectivo de malla corresponde menor fragmentación<sup>109</sup> y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$M_{meff(j)} = \frac{1}{A_{tj}} \sum_{i=1}^n A_{ij}^2$$

Dónde,

- $n$ : número de parches sin fragmentar en la unidad de planeación  $j$
- $A_{ij}$ : Tamaño del parche  $i$  dentro de la unidad de planeación  $jk$
- $A_{tj}$ : Tamaño total de la unidad de planeación  $j$ .

En cuanto a métricas de paisaje se determinaron índices de diversidad correspondientes a:

- Índice de diversidad de Shannon: Riqueza y diversidad de los parches representados en el paisaje, indicando el grado de homogeneidad.
- Índice de uniformidad de Shannon: Determina la proporción de área entre las coberturas analizadas.

#### 2.3.3.2.1.3.2 Modelo de idoneidad de hábitat y rutas de conectividad para especies de fauna reportadas en el área de influencia del proyecto

La selección de especies de fauna se realizó teniendo en cuenta las especies registradas durante la caracterización de fauna silvestre, buscando que se encontraran bajo algún estatus de amenaza, fueran de importancia ecológica o que fueran sensibles al impacto causado por el proyecto; además, que existiera información disponible o datos publicados sobre la ecología de la especie<sup>110</sup>.

El modelo de idoneidad de hábitat se realizó mediante un análisis inferencial multicriterio a través de álgebra de mapas con la herramienta de geoprocésamiento de análisis espacial Weighted Sum - Overlay en el programa ArcGIS versión 10.8. Esta técnica facilita los procesos de toma de decisiones que integran más de dos variables, tales como los que

<sup>109</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Sistemas de Trasmisión de Energía Eléctrica. Bogotá D.C. Pag 55. 2018.

<sup>110</sup> IUCN (The IUCN Red List of Threatened Species). <https://www.iucnredlist.org>. Accesado [14 de febrero 2022]. ISSN 2307-8235 (online)

surgen en conflictos de manejo ambiental, donde se consideran muchos atributos y relaciones<sup>111</sup>. Los ráster obtenidos fueron reclasificados en las categorías de idoneidad establecidas mediante la herramienta estadística Natural Breaks (Jenks) que agrupa mediante cortes donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

Se utilizaron como variables definitorias del hábitat aquellos reportados en la literatura para las especies seleccionadas y se buscó información disponible en la cartobase como coberturas, cuerpos de agua o presencia de vías y viviendas que pudieran representar resistencia al movimiento de las especies en el territorio.

Los valores de idoneidad para cada rango asignado a las variables y el porcentaje de contribución de cada variable al modelo, se asignaron de acuerdo con la ecología e historia natural de cada una de las especies. Se asignó una evaluación de idoneidad muy baja (1), idoneidad baja (2), idoneidad media (3), idoneidad alta (4) e idoneidad muy alta (5).

Para el modelo de idoneidad de hábitat en el escenario con proyecto se cambiaron las coberturas terrestres de acuerdo a las intervenciones del proyecto.

Adicionalmente, se modelaron las rutas de conectividad dentro del área de influencia. Para el análisis de conectividad se utilizó como insumo el mapa de idoneidad de hábitat generado con el fin de establecer las áreas núcleo o hábitats de alta idoneidad a conectar para cada especie. Para esto se consideraron en primera medida los hábitats de idoneidad alta de mayor tamaño y en algunos casos parches más pequeños que permitieran establecer la conectividad.

El algoritmo seleccionado para el análisis de conectividad fue el propuesto por McRae y Kavanagh<sup>112</sup>, el cual contiene la caja de herramientas Linkage Mapper Toolkit. La función utilizada de esta caja de herramientas fue la de “Build Network and Map Linkages”. Esta recibe dos parámetros: un archivo de tipo vectorial que representa los nodos, y un ráster que representa la matriz de resistencia a la conectividad en el paisaje. Los nodos seleccionados fueron las áreas núcleo resultantes del análisis de idoneidad.

Posteriormente, el algoritmo identifica cuáles son las distancias de menor costo, pixel a pixel, entre un nodo y otro. Este costo puede estar basado en distancia euclidiana, en resistencia o en ambos. Para este análisis se consideraron estos dos parámetros simultáneamente. Al final, el software arroja varios archivos, uno de ellos es un ráster con valores mínimos, intermedios y máximos; en este los valores mínimos representan menor resistencia; es decir, que estos pixeles son más aptos para la conectividad. En contraste, los valores máximos identifican aquellos sitios que son menos idóneos para establecer corredores. Las rutas conectaron bordes de las áreas núcleo, teniendo como supuesto que al interior de estos parches de alta idoneidad los individuos de las especies pueden tomar cualquier direccionalidad. El ráster de corredores resultante se clasificó para una mejor visualización en 10 clases mediante el estadístico “geometrical interval”.

<sup>111</sup> MALCZEWSKI, Jacek. Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems. EN: MATTHIAS EHRGOTT, JOSÉ RUI FIGUEIRA Y SALVATORE GRECO (ed.). Trends in Multiple Criteria Decision Analysis. Volume 142. Springer New York: 2010.p. 369-395. ISSN 0884-8289

<sup>112</sup> McRAER BH, KAVANAGH DM. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software, Seattle: The Nature Conservancy. 2011.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

#### 2.3.3.2.1.4 Fauna terrestre

##### 2.3.3.2.1.4.1 Información secundaria

Se realizó una caracterización de la fauna potencialmente presente en el AI biótica con base en información secundaria, para ello se elaboraron listas de cada uno de los grupos de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos), a partir de información secundaria de nivel nacional, regional y local. Las listas incluyen: clasificación taxonómica actualizada (orden, familia, especie), toponimia vernacular, unidades de cobertura a las cuales se asocia generalmente cada especie siguiendo la clasificación propuesta por el IDEAM (2010)<sup>113</sup>, y estados de conservación actuales de cada una de las especies.

La información secundaria fue obtenida a partir de diferentes fuentes según el grupo taxonómico a tratar, tal como se describe a continuación:

##### 2.3.3.2.1.4.1.1 Anfibios y reptiles

El estudio de los anfibios y reptiles, se encuentran íntimamente ligados y conjuntamente se trata como trabajos herpetológicos. Lo anterior, es debido a la complementariedad que estos grupos faunísticos presentan en hábitos espaciales y períodos de actividad; lo anterior permite que se realicen muestreos de forma conjunta en tiempo y espacio. A continuación, se presentan las fuentes de información consultadas para la herpetofauna potencialmente presente en el área de influencia.

- Estudios técnicos: Estudio de Impacto ambiental Autopista conexión Pacífico<sup>114</sup>.
- Literatura científica como guías de campo, artículos y libros: Acosta-Galvis (2000)<sup>115</sup>, Carvajal-Cogollo, Cárdenas-Arévalo y Castaño-Mora<sup>116</sup>.

<sup>113</sup> IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C. 2010. p. 72. ISBN: 978-958-806729-2.

<sup>114</sup> CONCESIÓN LA PINTADA. Estudio de Impacto Ambiental Autopista conexión Pacífico. 2015.

<sup>115</sup> ACOSTA-GALVIS, Andrés Rymel. Ranas, salamandras y caecilias (Tetrapoda: Amphibia) de Colombia. *Biota colombiana*, 2000, vol. 1, no 3.

<sup>116</sup> CARVAJAL-COGOLLO, Juan E., *et al.* Reptiles De Áreas Asociadas A Humedales De La Planicie Del Departamento De Córdoba, Colombia/Reptiles of associated areas to wetlands from the plain of the department of Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 2007, p. 427-438.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

- Bases de datos en línea: The Reptile Database (Uetz et al. 2021)<sup>117</sup>, Listado de anfibios de Colombia<sup>118</sup>, Amphibiaweb (2021)<sup>119</sup>, Amphibian Species of the World<sup>120</sup> y listado de GBIF Colombia<sup>121</sup>, el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia SIB<sup>122</sup>.

Material depositado en colecciones científicas (museos): Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia (MHUA)<sup>123</sup>.

#### 2.3.3.2.1.4.1.2 Aves

Para constituir la lista de especies de aves con presencia potencial en el área de influencia biótica, fueron revisados los siguientes documentos:

- Estudios técnicos: Estudio de Impacto ambiental proyecto Autopista conexión Pacífico<sup>124</sup>.
- Base de datos en línea: listado del Global Biodiversity Information Facility (GBIF)<sup>125</sup>, el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia SIB<sup>126</sup> y la base de datos de observaciones sobre aves eBird<sup>127</sup>.

#### 2.3.3.2.1.4.1.3 Mamíferos

Para la realización del listado de especies de mamíferos potenciales en área de influencia fueron revisados los siguientes documentos:

- Estudios técnicos: Estudio de Impacto ambiental Autopista conexión Pacífico<sup>128</sup>.

<sup>117</sup> UETZ, Peter., FREED, Paul. y HOŠEK Jirí. THE REPTILE DATABASE [en línea], [revisado 09 septiembre 2021]. Disponible en Internet: <http://reptile-database.org/>.

<sup>118</sup> ACOSTA-GALVIS, Andrés R. Lista de los Anfibios de Colombia: 2021. Referencia en línea V.11.2021 (09/09/2021). Página web accesible en <http://www.batrachia.com>; Batrachia, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.

<sup>119</sup> AMPHIBIAWEB. 2021. <<https://amphibiaweb.org>> University of California, Berkeley, CA, USA. Accessed 9 septiembre 2021.

<sup>120</sup> FROST, Darrel R. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1. 2021. (09-09-2021). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. [doi.org/10.5531/db.vz.0001](https://doi.org/10.5531/db.vz.0001)

<sup>121</sup> GBIF. The Global Biodiversity Information Facility. ¿Qué es GBIF? [Consultado el 25 de septiembre de 2021]. [En línea]: <<https://www.gbif.org/what-is-gbif>>.

<sup>122</sup> SIB. SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD DE COLOMBIA. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. IAvH. Versión 2020. [en línea], 2020. [citado el 02 de septiembre de 2020]. Disponible en: <<https://sibcolombia.net/>>.

<sup>123</sup> MHUA. Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia. Colección de anfibios - Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia. 2016. registros aportados por Daza-Rojas, J.M. (Publicador), [en línea], Disponible en: <<http://doi.org/10.15472/zn2bkv>>. Versión 7.2. (última modificación en 28/08/2018).

<sup>124</sup> CONCESIÓN LA PINTADA. Op. cit.

<sup>125</sup> GBIF. Op. cit., <<https://www.gbif.org/what-is-gbif>>

<sup>126</sup> SIB. Op. cit., <<https://sibcolombia.net/>>.

<sup>127</sup> EBIRD. Laboratorio de Ornitología de Cornell. [Consultado el 4 de abril de 2022]. [En línea]: <<https://www.ebird.org/home>>.

<sup>128</sup> CONCESIÓN LA PINTADA. Op. cit

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 Rev. No.: 3    2024-08-09
---	--	--

- Literatura científica como guías de campo, SOLARI Sergio, *et al*<sup>129</sup>, RAMÍREZ-CHAVES<sup>130</sup> y CUARTAS-CALLE, Carlos y MUÑOZ-ARANGO, Javier<sup>131</sup>
- Bases de datos en línea: listado de GBIF Colombia<sup>132</sup>, el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia SIB<sup>133</sup>.
- Determinación taxonómica y sensibilidad

Para la categorización taxonómica de anfibios y reptiles se adopta la propuesta de Batrachia: Lista de los anfibios de Colombia para el caso de anfibios<sup>134</sup> y para los reptiles The Reptile Database<sup>135</sup>, ya que ambas presentan inclusión de las más recientes propuestas taxonómicas de las especies colombianas.

Para la categorización taxonómica de aves se trabajó con la base de datos en línea especializada para aves de la American Ornithologist Union, compilada por Remsen *et al*<sup>136</sup>.

Para la categorización taxonómica de mamíferos se trabajó con la base de datos en línea: Mammals species of the world de Wilson y Reeder<sup>137</sup>.

La determinación de vulnerabilidad y endemismo se hizo a partir del chequeo de la página de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2022-2)<sup>138</sup>, la Resolución 0126 del del febrero de 2024 MADS<sup>139</sup> emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la página de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)<sup>140</sup>.

<sup>129</sup> SOLARI Sergio, *et al*. Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. Mastozoología Neotropical. 2013. vol. 20. no. 2. p. 301-365.

<sup>130</sup> RAMÍREZ-CHAVES, Héctor. SUAREZ-CASTRO, Andrés. Y GONZALEZ-MAYA, José. Cambios recientes a la lista de mamíferos de Colombia. En: Mammalogy notes, Notas Mastozoológicas. 2016. vol 3, no 1. p. 2-20. ISBN 2382-3704

<sup>131</sup> CUARTAS-CALLE, Carlos y MUÑOZ-ARANGO, Javier. Lista de los mamíferos (Mammalia: Theria) del departamento de Antioquia, Colombia. En: Biota Colombia. 2003. Vol. 4, no, 1, p. 65-78.

<sup>132</sup> GBIF. Op. cit., <<https://www.gbif.org/what-is-gbif>>

<sup>133</sup> SIB. Op. cit., <<https://sibcolombia.net/>>.

<sup>134</sup> ACOSTA-GALVIS, Op. cit. <http://www.batrachia.com>

<sup>135</sup> UETZ, *et al*., Op. cit. <<http://reptile-database.org/>>.

<sup>136</sup> REMSEN *et al*. A CLASSIFICATION OF THE BIRD SPECIES OF SOUTH AMERICA. AMERICAN ORNITHOLOGISTS' UNION [en línea] <<http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html>> [Versión 31 de mayo de 2023]

<sup>137</sup> WILSON Donn E. y REEDER DeeAnn M. Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference (3rd ed), Johns Hopkins University Press, 2,142 pp. (Available from Johns Hopkins University Press, 1-800-537-5487 or (410) 516-6900, [en línea] [Consultado el 06 de octubre de 2021]. Disponible en: <<http://www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/browse.asp>>.

<sup>138</sup> IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. 2023. Version 2022-2. <<https://www.iucnredlist.org>>

<sup>139</sup> MADS. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0126 del 6 de febrero de 2024. Por la cual se establece el listado de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el comité coordinador de Categorización de especies silvestres amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras determinaciones. Bogotá D.C., 2024. P. 1-70.

<sup>140</sup> CITES. CONVENCION SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES. Apéndices I, II y III en vigor a partir de mayo de 2023. 81 p. [En línea] [Citado en julio de 2023]. Disponible en: <<https://cites.org/esp/app/appendices.php>>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Adicionalmente también se utilizó el Plan Nacional de especies Migratorias<sup>141</sup> para evaluar aquellas especies con algún patrón de migración dentro del territorio.

#### 2.3.3.2.1.4.2 Información primaria

Para la caracterización de la fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) en el AI biótica, se realizaron cuatro (4) campañas de muestreo (ver Tabla 2-72), en donde se inventariaron las coberturas de Bosque de galería y ripario (Bgr), Pastos (pastos arbolados, enmalezados y limpios), Cultivos permanentes arbóreos (Cpb) y Bosque fragmentado con vegetación secundaria (Bfvs) (ver Tabla 2-72, Fotografía 2-2 y Figura 2-26).

Considerando la similitud de la fauna presente en la cobertura de Pastos (P), dadas sus características estructurales y por practicidad y eficiencia en los análisis, se realizó homologación de este hábitat a un nivel superior de acuerdo con la metodología Corine Land Cover, procurando que los puntos de muestreo representen la heterogeneidad de cada cobertura en niveles de clasificación inferiores. En la Figura 2-26 se referencian algunos de estos puntos y transectos.

**Tabla 2-72. Campañas de muestreo fauna terrestre.**

Campaña	Fecha	Coberturas
1	18-23/05/2022	P, Bgr
2	18-20/11/2022	Cpb
3	8-10/06/2023	Bfvs
4	8-12/07/2024	Bgr, P y Cpb

Convenciones: P: Pastos (limpios, arbolados y enmalezados); Bgr: Bosque de galería y ripario; Cpb: Cultivos permanentes arbóreos y Bfvs: Bosque fragmentado con vegetación secundaria

*Fuente: SAG, 2024*

<sup>141</sup> NARANJO, Luis German y AMAYA E., Juan David. Plan Nacional de las Especies Migratorias. Diagnóstico e identificación de acciones de Conservación y el manejo sostenible de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Dirección de Ecosistemas. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. WWF Colombia. Primera edición. Bogotá D.C. 2009. 241 p. ISBN: 978-958-8353-11-1.



Bosque de galería y ripario (Bgr)



Bosque fragmentado con vegetación  
secundaria (Bfvs)



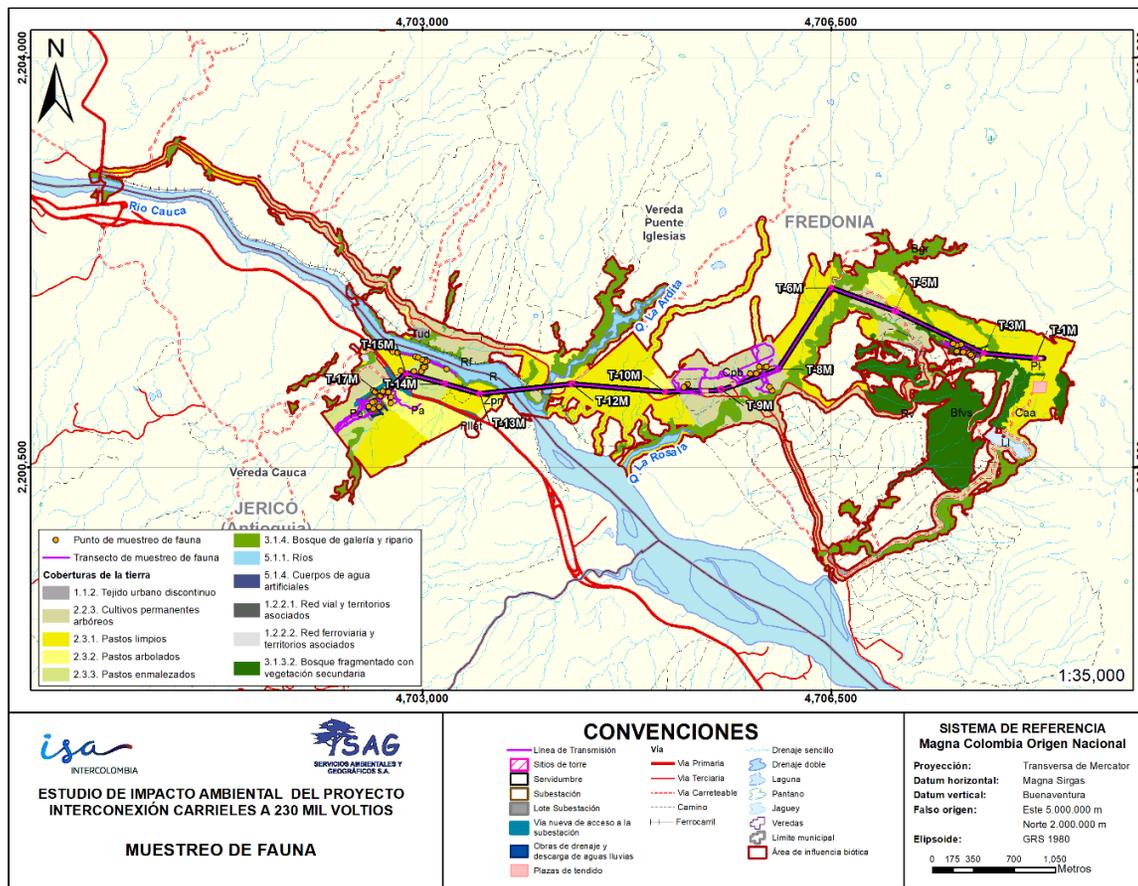
Cultivos permanentes arbóreos (Cpb)



Pastos arbolados (P)

**Fotografía 2-2. Coberturas de muestreo de fauna en el AI biótica del proyecto**

*Fuente: SAG, 2024*



**Figura 2-26. Sitios de muestreo de fauna en el AI biótica del proyecto.**

Fuente: SAG, 2024

Las metodologías utilizadas para cada grupo se describen a continuación:

#### 2.3.3.2.1.4.2.1 Anfibios y reptiles

- Fase de campo

El registro de las especies y el número de individuos de anfibios y reptiles se realizó mediante el método por encuentro visual (VES por sus siglas en inglés)<sup>142</sup>, implementando búsqueda libre en transectos de longitud variable, con avistamiento, captura y registro de cantos, siendo prácticas ampliamente utilizadas para herpetofauna y con resultados fiables en muestreos que buscan una caracterización a nivel puntual.

<sup>142</sup> CRUMP M. SCOTT, J. 1994, Visual encounter surveys, Pp, 84-92, En: Measuring and monitoring biological diversity, Standard methods for amphibians (Heyer, W,R., Donnelly, M,A. Mcdiarmid, R,W., Hayek, L,-A,C, & Foster, M,S., eds.), Smithsonian Institution Press, Washington.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Los transectos fueron recorridos en jornadas diurnas y nocturnas en cada una de las coberturas vegetales presentes en el área de influencia biótica, con el fin de detectar animales con diferentes períodos de actividad y uso de hábitat. La ventaja de este diseño es que permite el cubrimiento de todas las coberturas establecidas y la obtención de una lista de especies con su abundancia (frecuencia de aparición), sin violar los supuestos de aleatoriedad de muestreo, necesario para hacer comparaciones entre áreas<sup>143,144</sup>.

El trabajo en campo fue realizado por un profesional zoólogo-herpetólogo y un auxiliar de campo, realizando una búsqueda cuidadosa de anfibios y reptiles en todos los microhábitats disponibles que puedan ser ocupados por las especies, como vegetación arbórea y arbustiva, matorrales, hojarasca, troncos caídos, cavidades del suelo y charcas permanentes o temporales (ver Fotografía 2-3).

Para las especies comunes los ejemplares se identificaron a partir de la observación directa, y cuando hubo incertidumbre taxonómica los especímenes fueron capturados de forma manual, aunque también se dispuso de ganchos herpetológicos para captura de serpientes, con el fin de verificar caracteres diagnósticos (ver Fotografía 2-3). Para todos los individuos se registraron datos de cobertura vegetal, microhábitat, georreferenciación, número de individuos y finalmente se realizó una documentación fotográfica tanto de los ejemplares capturados como de los no capturados, siempre y cuando fuera posible.



**Fotografía 2-3. Metodología implementada para la caracterización de herpetofauna.**

*Fuente: SAG, 2024*

<sup>143</sup> ANGULO, Ariadne; *et al.* Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional-Serie de guías tropicales de campo 4. Bogotá D. C. Colombia. 2006. p. 299.

<sup>144</sup> *Ibid.*, p. 299.

- Guia taxonómica

Para la categorización taxonómica se adoptó la propuesta de Amphibian Species of the World<sup>145</sup> para el caso de anfibios y para los reptiles The Reptile Database<sup>146</sup>, ya que ambas presentan inclusión de las más recientes propuestas taxonómicas.

- Esfuerzo de muestreo

El muestreo de anfibios y reptiles se realizó en las coberturas presentes en el AIB.

Para los recorridos de observación de anfibios y reptiles a lo largo de los transectos, el esfuerzo de muestreo (E) se calculó sumando el tiempo de duración de los recorridos durante los días de muestreo. Por su parte, el éxito de muestreo (Em) corresponde al número de registros sobre el esfuerzo (E) (ver Tabla 2-73).

**Tabla 2-73. Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para anfibios y reptiles.**

Parámetro	Ecuación
<b>Esfuerzo de muestreo (E)</b>	$E = \sum \text{horas de muestreo}$
<b>Éxito de muestreo (Em)</b>	$Em = \frac{\text{Número de registros}}{E}$

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.2.1.4.2.2 Aves

- fase de campo

Para la caracterización de las aves del área de influencia biótica se implementaron dos (2) técnicas de muestreo: observación con binoculares y captura con redes de niebla, como lo sugiere el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible<sup>147</sup>.

La primera técnica consistió en realizar observaciones directas con la ayuda de binoculares Nikon Trailbazer, con poder de magnificación de 10 mm X 42 mm (ver Fotografía 2-4), a partir de transectos de ancho variable realizados en cada cobertura a muestrear. Durante los recorridos se registraron los siguientes datos: fecha, sitio, cobertura vegetal de registro, especie y número de individuos. Adicionalmente, cuando las condiciones eran óptimas, se realizó un registro fotográfico de los ejemplares. Los muestreos se llevaron a cabo en las horas de mayor actividad de las aves (6:00-11:00h y 15:30-18:30h).

La segunda técnica consistió en seleccionar cuatro (4) puntos de muestreo en cada cobertura vegetal e instalar en cada punto una red de niebla con longitud de 12 m x 2,5 m de altura (ver Fotografía 2-4). Estos puntos se escogieron teniendo en cuenta las áreas donde fue difícil la detección visual de las aves y aquellas de especial interés para su captura. Las redes de niebla se ubicaron en sitios estratégicos procurando el tránsito de las aves y **permanecieron abiertas durante dos (2) días en cada una de estas coberturas,**

<sup>145</sup> FROST, Darrel R. Op. cit., <<http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>>.

<sup>146</sup> UETZ, Peter. *et al.* Op. cit., [Citado en julio 2021]

<sup>147</sup> COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá D. C. 2018. p. 1-228.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

(exceptuando Bgr, donde se realizó un día adicional), en un máximo de 8 horas (6:00-11:00h y 15:30-18:30h), las cuales fueron revisadas cada 20 minutos.



Observación con binoculares



Captura con redes de niebla

**Fotografía 2-4. Metodología implementada para la caracterización de la avifauna.**

*Fuente: SAG, 2024*

Cada individuo capturado fue determinado hasta el nivel de especie, soportado en bibliografía especializada como Hilty y Brown<sup>148</sup>, Restall *et al*<sup>149</sup> y Ayerbe-Quiñones<sup>150</sup>, se tomó un registro fotográfico y posteriormente fue liberado. A estos individuos se les realizó un pequeño corte de una pluma de la cola para evitar contarlos más de una vez.

- Guía taxonómica

Para la clasificación taxonómica de las aves se siguió la nomenclatura propuesta por el South American Classification Committee (SACC), perteneciente a la American Ornithologists Union (AOU), en el documento "A classification of the bird species of South America" de Remsen *et al*<sup>151</sup>.

<sup>148</sup> HILTY, Steven L.; BROWN, William L.; BROWN, Bill. A guide to the birds of Colombia. Princeton University Press. Segunda edición. 2001. 1030 p. ISBN: 958-33-2254-7.

<sup>149</sup> RESTALL, Robin; CLEMENCIA, Rodner; LENTINO, Miguel. Birds of Northern South America. An identification Guide. Christopher Helm. A&C Black Publishers Ltd. London. 2006.

<sup>150</sup> AYERBE-QUIÑONES, Fernando. Guía ilustrada de la avifauna colombiana. Wildlife Conservation Society Colombia. Tercera edición. Bogotá, 2022. p. 472.

<sup>151</sup> REMSEN, James, *et al*. Op. cit., <<http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>>.

- Esfuerzo de muestreo

La intensidad y eficiencia de los muestreos realizados con las diferentes técnicas de campo, fueron evaluadas a partir del esfuerzo y éxito respectivamente, considerándose a este último como un índice de abundancia relativa.

Para los recorridos de observación de aves a lo largo de transectos, el esfuerzo de muestreo (E) se calculó multiplicando el tiempo de duración del recorrido, por el número de personas que lo efectuaron. Así, el resultado se expresa en horas-hombre. El éxito de muestreo (Em) corresponde al número de avistamientos obtenidos/esfuerzo (E) (ver Tabla 2-74).

Para el trabajo con redes de niebla, se siguió lo establecido por el Instituto Alexander von Humboldt en Villarreal *et al*<sup>152</sup>: El esfuerzo de muestreo se midió en horas-red, donde una hora-red equivale a una red de 12 m x 2,5 m abierta durante una hora. Para calcular el esfuerzo de muestreo, se contabilizó el número total de metros de redes instaladas y el número total de horas durante las cuales permanecieron abiertas; este último se calculó teniendo en cuenta la hora de apertura de las redes (hora en la cual se abrió la última red) y la hora de cierre de las mismas (momento en que se cerró la primera red). El éxito de captura (Ec) correspondió al número de animales capturados / esfuerzo (E) (ver Tabla 2-74).

**Tabla 2-74. Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para aves.**

Parámetro	Ecuación
<b>Esfuerzo de muestreo (E)</b>	$E = \text{Tiempo (horas)} * \text{número de personas}$
<b>Éxito de muestreo (Em)</b>	$Em = \frac{\text{Número de avistamientos obtenidos}}{E}$
<b>Esfuerzo de muestreo (E) redes de niebla</b>	$E = \frac{\sum \text{metros de redes}}{12 m} * \text{total de horas}$
<b>Éxito de muestreo (Em) redes de niebla</b>	$Ec = \frac{\text{Número de animales capturados}}{E}$

Fuente: SAG, 2024

#### 2.3.3.2.1.4.2.3 Mamíferos

- Fase de campo

Para la caracterización de la mastofauna presente en el AI biótica se aplicaron las metodologías estándar utilizadas para el registro directo e indirecto de especies. Cada una de las metodologías fue aplicada en las diferentes coberturas vegetales. A continuación, se detallan los métodos utilizados para caracterizar los diferentes grupos de mamíferos:

- Mamíferos pequeños no voladores

Para la captura de pequeños mamíferos no voladores (PMNV), que incluyen roedores y marsupiales con un peso menor de 1kg en su fase adulta, se implementó la instalación de

<sup>152</sup> VILLAREAL, Héctor M., *et al*. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 2004. 236 p.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

30 trampas Sherman® (ver Fotografía 2-5). Respecto a mamíferos de tamaño mediano se instalaron cinco (5) trampa Tomahawk (ver la Fotografía 2-5).

Cada trampa fue dispuesta *ad libitum* (a voluntad) a lo largo de una línea de trampas, con una separación aproximada de 8 a 10 m entre cada una, ubicándolas en sitios que se consideraron los más probables para la captura de individuos, como la base de los árboles, troncos caídos, senderos creados por animales, huecos, entre otros tipos de microhábitats<sup>153, 154, 155</sup>. Todas las trampas fueron cebadas con una mezcla de avena en hojuelas, mantequilla de maní y esencia de vainilla para el caso de las trampas Sherman, para las trampas Tomahawk sardina y banano fueron los cebos empleados. Cada trampa fue revisada en horas de la mañana, para corroborar si se daban capturas y para cambiar cebo viejo (ver Fotografía 2-5).



Trampa Sherman



Trampa Tomahawk

**Fotografía 2-5. Metodologías de registro mamíferos pequeños no voladores.**

Fuente: SAG, 2024

- Mamíferos medianos y grandes

Para el registro directo e indirecto de especies de este grupo, las cuales suelen ser de hábitos crípticos y esquivos se aplicaron dos (2) metodologías<sup>156</sup>. La primera consistió en la instalación de **cuatro (4) trampas cámara**. Para la elección de cada punto de instalación

<sup>153</sup> BARNETT, Adrian y DUTTON, John. Expedition Field Techniques: Small Mammals (excluding bats). 2da edición. London: Royal Geographic Society (with the Institute of British Geographers), 1995. p 131.

<sup>154</sup> VOSS, Robert, LUNDE, Darrin y SIMMONS, N. The Mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland rainforest fauna. Part 2. Nonvolant species. En: Bulletin of the American Museum of Natural History. 2001. No. 263. p 236.

<sup>155</sup> WILSON Don, Russell Cole, NICHOLS James, RUDRAN Rasanayagam, FOSTER Mercedes. Measuring and monitoring biological diversity, standard methods for mammals. Smithsonian Institution Press. Washington D.C. 409p.1996.

<sup>156</sup> RUMIZ Damian, EULERT Christian, ARISPE Rosario. Evaluación de la Diversidad de mamíferos medianos y grandes en el Parque Nacional Carrasco (Cochabamba- Bolivia). Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental 4:77-90. 1998.

de los dispositivos se tuvo en cuenta que la zona tuviera indicios de tránsito de las especies incluyendo caminos o comederos, esto con el fin de maximizar la probabilidad de captura<sup>157</sup> (ver Fotografía 2-6).

La segunda metodología empleada para este grupo consistió en recorridos libres, los cuales permiten el registro directo por medio de observaciones o indirectos a través del encuentro de rastros<sup>158</sup>. Los recorridos se llevaron a cabo en horas del día y en horas de la noche, a paso lento y tratando de guardar silencio con el fin de tener una mejor percepción visual y auditiva de la zona.



Cámara Trampa



Recorridos

**Fotografía 2-6. Metodología para registro mamíferos medianos y grandes.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Mamíferos voladores

Para la captura de mamíferos voladores se utilizaron tres (3) redes de niebla de un tamaño (12 m de largo x 2,6 m de ancho) (ver Fotografía 2-7). Las redes se abrieron desde el atardecer (17:30 horas) y se mantuvieron abiertas hasta las 21:00 horas aproximadamente, siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitieran. Todas las redes se instalaron a nivel del suelo, en posibles sitios de paso o refugio, cerca de plantas asociadas con su dieta, en el interior o en el borde de las coberturas boscosas y en zonas abiertas<sup>159, 160</sup>.

Las redes se revisaron cada 15 o 30 minutos, según la actividad de los murciélagos. Los especímenes capturados fueron liberados con cuidado de la red, depositados en bolsas de

<sup>157</sup> CHAVEZ, Cuauhtémoc, *et al.* Manual de fototrampeo para el estudio de fauna silvestre: El jaguar en México como estudio de caso. México: Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México, 2003. p 103.

<sup>158</sup> ARANDA-SÁNCHEZ, Jaime. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. México D.F, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. p 255.

<sup>159</sup> SIMMONS, Nancy; VOSS, Robert. The Mammals of Paracou, French Guiana: A Neotropical lowland rainforest fauna. Part 1. Bats. En: Bulletin of the American Museum of Natural History. 1998. No, 237. p 219.

<sup>160</sup> KUNZ Thomas, HODGKISON Robert & WEISE C. Methods of capturing and handling bats. En Kunz, T. H. & Parsons, S. Ecological and behavioral methods for the study of bats (pp 3-359. Maryland: E. U.: The Johns Hopkins University Press. 2009.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

tela y llevados hacia una estación de muestreo donde cada individuo fue extraído y se le tomaron medidas morfométricas. Para ayudar a la identificación de las especies se siguieron claves especializadas<sup>161</sup>. Por último, cada individuo fue fotografiado y liberado en la misma área de captura.



Red de niebla



Murciélago en red

**Fotografía 2-7. Metodología para el registro de mamíferos voladores.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Guía taxonómica

La clasificación taxonómica de las especies registradas se basó en la nomenclatura más reciente propuesta por la Sociedad Colombiana de Mastozoología<sup>162</sup>.

- Esfuerzo de muestreo

El esfuerzo en el AI biótica es la sumatoria de los esfuerzos de cada metodología en cada cobertura vegetal (ver Tabla 2-75), como se muestra a continuación:

Pequeños mamíferos no voladores: el esfuerzo de muestreo (E) para cada cobertura se calculó multiplicando el número de trampas por noche por el número de noches efectivas de muestreo.

Mamíferos terrestres medianos y grandes: para este método, el esfuerzo de muestreo (E) para cada cobertura se calculó multiplicando el número de cámaras trampas por 24 horas, por días instalados.

<sup>161</sup> DÍAZ, Mónica, *et al.* Clave de identificación de los murciélagos de Sudamérica. Publicaciones Especiales No. 2. Tucumán, Argentina: PCMA (Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina), 2016. p 160.

<sup>162</sup> RAMÍREZ-CHAVES Héctor, *et al.* Op. Cit., <<https://doi.org/doi.org/10.15472/kl1whs>>.

Para los recorridos de observación de mamíferos a lo largo de transectos en cada cobertura, el esfuerzo de muestreo (E) se calculó multiplicando el tiempo de duración del recorrido, por el número de personas que lo efectuaron. Así, el resultado se expresó en horas-hombre.

Mamíferos voladores: Para calcular el esfuerzo de muestreo se contabilizó el número total de metros de redes instaladas y el número total de horas durante las cuales permanecieron abiertas; este último se calcula teniendo en cuenta la hora de apertura de las redes (hora en la cual se abre la última red) y la hora de cierre de las mismas (momento en que se cierra la primera red).

Para cada método implementado en la caracterización de mamíferos el éxito de muestreo (Em) corresponde al número de registros obtenidos/esfuerzo (E).

**Tabla 2-75. Ecuaciones del Esfuerzo de muestreo para mamíferos.**

Esfuerzo de muestreo (E)	Ecuación
Pequeños mamíferos no voladores	$E = \# \text{ de trampas} * \text{número de noches}$
Mamíferos terrestres medianos y grandes para cada cobertura (cámaras trampa)	$E = \# \text{ de cámaras} * \text{días de instalación} * 24 \text{ horas}$
Mamíferos terrestres medianos y grandes por cobertura (transectos)	$E = \text{Tiempo (horas)} * \text{número de personas}$
Mamíferos voladores	$E = \text{Tiempo (horas)} * \text{número de redes (12m)}$
Éxito de muestreo (Em) para todos los grupos de mamíferos	$Em = \frac{\text{Número de registros obtenidos}}{E}$

Fuente: SAG, 2024

#### 2.3.3.2.1.4.3 Análisis estadístico para el componente fauna

Para el presente EIA, la diversidad o riqueza de especies es definida como el número de especies en la totalidad del AI biótica, de este modo, y con el fin de hacer una determinación gráfica, se discriminó la totalidad de especies registrados en jerarquías taxonómicas (Orden, Familia, Género, Especie), con el objetivo de identificar el grado de representatividad de cada una.

- Curva de acumulación de especies

En general, para evaluar la representatividad de los muestreos, se empleó la curva de acumulación de especies para cada una de las coberturas muestreadas, que representa el número de especies acumulado en el inventario frente al esfuerzo de muestreo realizado. De esta manera, la curva de acumulación es la representación gráfica de la cantidad de las especies que van apareciendo en el muestreo<sup>163</sup>. Los cálculos se realizaron utilizando el programa EstimateS 9.1.0 para Windows, disponible en línea. Para determinar la eficiencia

<sup>163</sup> VILLARREAL, Héctor Op. cit. p. 42.

de estos muestreos, se utilizaron los estimadores como ACE, Chao de primer orden, Jackknife 1 o Bootstrap, los cuales arrojan resultados más precisos al estimar la riqueza de ensamblajes con gran cantidad de especies "raras".

- Diversidad alfa

Diversidad alfa: usando el programa Past®, se realizaron los análisis (dominancia de Simpson y diversidad de Shannon), los cuales nos indican la diversidad de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea.

- Índice de Simpson (Ds)

Expresa la probabilidad de extraer de la comunidad dos (2) individuos capturados al azar que pertenezcan a la misma especie. Es una medida de cuan dominante es una especie, de esta manera las especies comunes tiene mucho peso respecto a las especies raras. Oscila entre 0 y (1-1/S), su algoritmo es como se muestra en la Tabla 2-76.

- Índice de Shannon (H')

El índice de Shannon-Wiener es uno de los índices de medida más simples y de uso más extenso, que mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo dado, elegido al azar dentro de la comunidad. Mide la variedad de especies de un área determinada, indicando su diversidad y frecuencia; una alta diversidad indica un alto grado de desarrollo y estabilidad de la biota; se basa en la abundancia proporcional de las especies como en su riqueza; se incrementa con el número de especies y el número de individuos (ver Tabla 2-76).

**Tabla 2-76. Ecuaciones de Diversidad Alfa.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Índice de Simpson (Ds)</b>	$H = 1 - \sum \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$	N: Número total de individuos Ni: Número de individuos por especie
<b>Índice de Shannon (H')</b>	$H = - \sum \frac{n_i}{\ln(n_i / N)}$	H': Diversidad ni: Número de individuos por especie N: Número total de individuos

*Fuente: SAG, 2024*

- Diversidad beta

Usando el programa Past®, se realizó el análisis de similitud de Jaccard. Este índice está diseñado para ser igual a uno en casos en que la similitud sea completa e igual a cero si las estaciones son disimiles y no tienen especies en común (ver Tabla 2-77).

**Tabla 2-77. Ecuaciones de Diversidad beta.**

Índice	Ecuación	Observaciones
<b>Índice de Jaccard</b>	$J=1+c/(a+b+c); 0 < SJ < 1$	a: Elementos exclusivos de la condición A b: Elementos exclusivos de la condición B c: Elementos exclusivos de la condición A y B

*Fuente: SAG, 2024*

- Gremios tróficos:

Los gremios tróficos se definieron como omnívoro (consumo de material vegetal, animal y alimentos procesados), Insectívoro (consumo de insectos), Folívoro (consumo de hojas), Granívoro (consumo de granos y semillas), Herbívoro (consumo de vegetales), Hematófagos (consumo de sangre), Frugívoro (consumo de frutos), carnívoro (consumo de carne de otros animales), Nectarívoro (consumo del néctar de las flores), Piscívoro (consumo de peces) y Carroñero (consumo de cadáveres de animales). La caracterización trófica, se realizó en base a los resultados de abundancia relativa, para facilitar la cuantificación de la misma.

- Curvas rango abundancia:

Para comparar la abundancia y la uniformidad de especies entre las diferentes unidades muestrales, se realizaron gráficas de rango abundancia, siendo ampliamente utilizadas en estudios de caracterización de fauna.

- Especies sensibles

Posterior a esto, se evaluaron las especies sensibles presentes en el AI biótica. Estas especies se reconocen como todas aquellas que, debido a alguna característica ecológica o poblacional, son más perceptivas al cambio ambiental que producen las actividades antrópicas. A partir de esto, fueron analizadas aquellas especies que han sido catalogadas como amenazadas de extinción, para lo cual se tuvieron en cuenta las categorías establecidas a nivel global por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN (2021)<sup>164</sup>, y a nivel nacional por la Resolución 0126 de 2024 del MADS<sup>165</sup>. Así mismo, se analizaron aquellas especies que presentan restricción en su comercio a través de la lista de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)<sup>166</sup>, aquellas que tuvieran rangos de distribución muy pequeños o restringidos (endémicas) y las especies con algún patrón de migración dentro del territorio,

<sup>164</sup> IUCN. Op. cit., <<https://www.iucnredlist.org>>

<sup>165</sup> MADS. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0126 del 6 de febrero de 2024. Por la cual se establece el listado de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el comité coordinador de Categorización de especies silvestres amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras determinaciones. Bogotá D.C., 2024. P. 1-70.

<sup>166</sup> CITES. Op. cit., <<https://cites.org/esp/app/appendices.php>>.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

para lo cual fue evaluado el Plan Nacional de especies Migratorias de Naranjo y Amaya y Naranjo *et al.*<sup>167</sup> y la Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia de Amaya-Espinel y Zapata<sup>168</sup>.

Siguiendo los criterios establecidos por la Unión Internacional para la Conservación de la naturaleza (IUCN), las categorías de amenaza han sido definidas como:

- En Peligro Crítico (CR): en esta categoría se incluyen las especies que enfrentan un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre, en el futuro inmediato.
- En Peligro (EN): esta categoría incluye las especies que no están en “peligro crítico”, pero están enfrentando un muy alto riesgo de extinción o deterioro poblacional en estado silvestre, en el futuro cercano.
- Vulnerables (VU): un taxón está en la categoría de VU, cuando la mejor evidencia disponible indica que enfrenta un moderado riesgo de extinción o deterioro poblacional a mediano plazo.

Las especies amparadas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), se encuentran incluidas en tres apéndices según el grado de protección que necesiten, los cuales se describen a continuación:

- Apéndice I: Incluye todas las especies en peligro de extinción, y el comercio de esas especies se autorizará solamente bajo circunstancias excepcionales.
- Apéndice II: Incluye las especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia.
- Apéndice III: Incluye especies que están protegidas al menos en un país, el cual ha solicitado la asistencia de otras partes de las CITES para controlar su comercio.

Los análisis y gráficos se realizaron con los softwares libres Past<sup>169</sup>, 9.1.0 y una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Finalmente, como resultado del muestreo de fauna se realizó un análisis y unas figuras de los posibles corredores de fauna asociados a especies endémicas, migratorias o con algún grado de amenaza o vulnerabilidad, presentes en el AI biótica.

#### 2.3.3.2.1.5 Ecosistemas Acuáticos

Con el fin de dar cumplimiento a los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17 de 2018 y dentro del marco de la Metodología general para elaboración y presentación

<sup>167</sup> NARANJO, Luis German y AMAYA E., Juan David. Op. Cit., p 241.

<sup>168</sup> AMAYA-ESPINEL, Juan y ZAPATA, Luis. (Editores). Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Insectos, murciélagos, tortugas marinas, mamíferos marinos y dulceacuícolas. 2014 vol. 3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF-Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. P. 370.

<sup>169</sup> HAMMER, Øyvind; HARPER, David AT; RYAN, Paul D. PAST: paquete de programas de estadística paleontológica para enseñanza y análisis de datos. En: Palaeontol. Electrón. 2004, vol. 4.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

de estudios ambientales vigente<sup>170</sup>, se describe a continuación el esquema metodológico para el componente de ecosistemas acuáticos.

#### 2.3.3.2.1.5.1 Revisión de información secundaria - Listado de especies potencialmente presente

De acuerdo con lo consignado en los términos de referencia TdR-17 de 2018, en su numeral 5.2.1.2, se obtuvo información de la hidrobiota potencialmente presente en el área de influencia del Proyecto.

En términos generales muchos informes se encuentran en literatura gris y no corresponden específicamente a la subcuenca objeto de estudio. Por ello, la construcción del listado de especies potencialmente presentes se realizó con información disponible a nivel de la cuenca más importante dentro del área.

Para la fauna íctica se revisaron los Planes de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de los directos Río Cauca – Río Amagá – Quebrada Sinifaná, registro de diferentes cuerpos de agua, incluidos la Quebrada La Loma, Quebrada Piedra Verde, Quebrada Sabalética, el río Poblano, Quebrada la Horcona, Quebrada la Arabia y Quebrada San Cristóbal<sup>171</sup> y el estudio de Álvarez-León y colaboradores<sup>172</sup>. Respecto a los macroinvertebrados acuáticos, se revisó la información de varios monitoreos hidrobiológicos realizado por CORANTIOQUIA mediante su programa socioambiental “Piragua”<sup>173</sup> en la zona suroeste antioqueño y el plan de Ordenamiento del río Piedras<sup>174</sup>. Para las tres comunidades (peces, macroinvertebrados y perifiton) se tuvieron en cuenta los resultados de los proyectos viales *Autopista Al Mar 1*<sup>175</sup> y El proyecto de desarrollo vial *Pacífico II*<sup>176</sup>.

170 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE., AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. 2018. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Bogotá D.C.: Colombia. 228p.

171 CORANTIOQUIA. POMCA de los Directos Río Cauca –Río Amagá Quebrada Sinifaná. 2018. Fase Diagnóstico. 688 p.

172 ÁLVAREZ, R., VARGAS, L.A., GARCÍA, D. & BOTERO, A.F., 2016.- Valoración hidrológica e ictiológica, de los sectores del río Cauca medio, entre sus efluentes (ríos San Francisco, Campoalegre y Chinchiná) Caldas (Colombia). Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas, 20 (2): 93-113

173 PROGRAMA INTEGRAL RED AGUA - PIRAGUA. Hidrobiológicos Jurisdicción de CORANTIOQUIA. 2016. 120 p.

174 CORANTIOQUIA y EL CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ANTIOQUIA –CTA. Plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Piedras. 2017. 74 p.

175 CONSULTORÍA COLOMBIANA S.A. Estudio de Impacto Ambiental Construcción de la segunda calzada San Jerónimo – Santa Fe. Uf 2.1 del proyecto Autopista Al Mar 1. Estudio elaborado para Devimar S.A.S. 2016.

176 CONCESIÓN LA PINTADA. "Proyecto Autopista conexión Pacífico 2 - EIA unidad funcional UF – 4. 2015. Ecosistemas acuáticos.

Los peces reportados fueron verificados en el catálogo de peces de Eschmeyer (CAS)<sup>177</sup>, la CheckList de peces construido para Colombia<sup>178</sup>, Los peces de los Andes Colombianos<sup>179</sup> y el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia<sup>180</sup>.

#### 2.3.3.2.1.5.2 Diseño del muestreo y ubicación de estaciones – Levantamiento de información primaria

En el área de influencia se localizaron cuatro (4) estaciones de muestreo (Tabla 2-78) las cuales se ubicaron en sitios con susceptibilidad de afectación por el desarrollo del proyecto por ocupaciones de cauce (Quebrada NN (Afluente sin nombre 5) y río Cauca), también se incluyó la Quebrada La Ardita. Las muestras tomadas corresponden a las comunidades hidrobiológicas de peces, perifiton, macroinvertebrados y macrófitas acuáticas. Se efectuaron en total tres campañas de muestreo, la primera el 18 de mayo de 2022 (temporada de lluvias), la segunda se realizó el 12 de julio de 2022 (temporada seca) y la última, se ejecutó el 28 de febrero de 2023 (temporada seca), cumpliendo así con los términos de referencia TdR-17. Es importante mencionar que, los muestreos en el río Cauca se contemplaron en todas las campañas, sin embargo, para el año 2022 se registró el fenómeno de “la Niña”, el cual se extendió por varios meses. 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).

La toma de muestras estuvo amparada bajo el permiso de estudio vigente de Servicios Ambientales y Geográficos S.A, otorgado bajo la Resolución 0644 del 2021 emitido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Las muestras recolectadas para las diferentes comunidades hidrobiológicas fueron depositadas en colecciones biológicas.

**Tabla 2-78. Ubicación de las estaciones de muestreo hidrobiológico, en el área de influencia del proyecto.**

ID	Nombre de la fuente	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
		W	N	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
E3 *	Río Cauca *	75° 40' 58,292"	5° 49' 1,959"	4703003,954	2201496,115

<sup>177</sup> FRICKE, Ron. ESCHMEYER, William. VAN DER LAAN, Richard. Eschmeyer's Catalog Of Fishes: Genera, Species, References. [En línea]. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Fecha de acceso: septiembre de 2023.

<sup>178</sup> DONASCIMIENTO, Carlos, et al. Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. ZooKeys, 2017, no 708, p. 25.

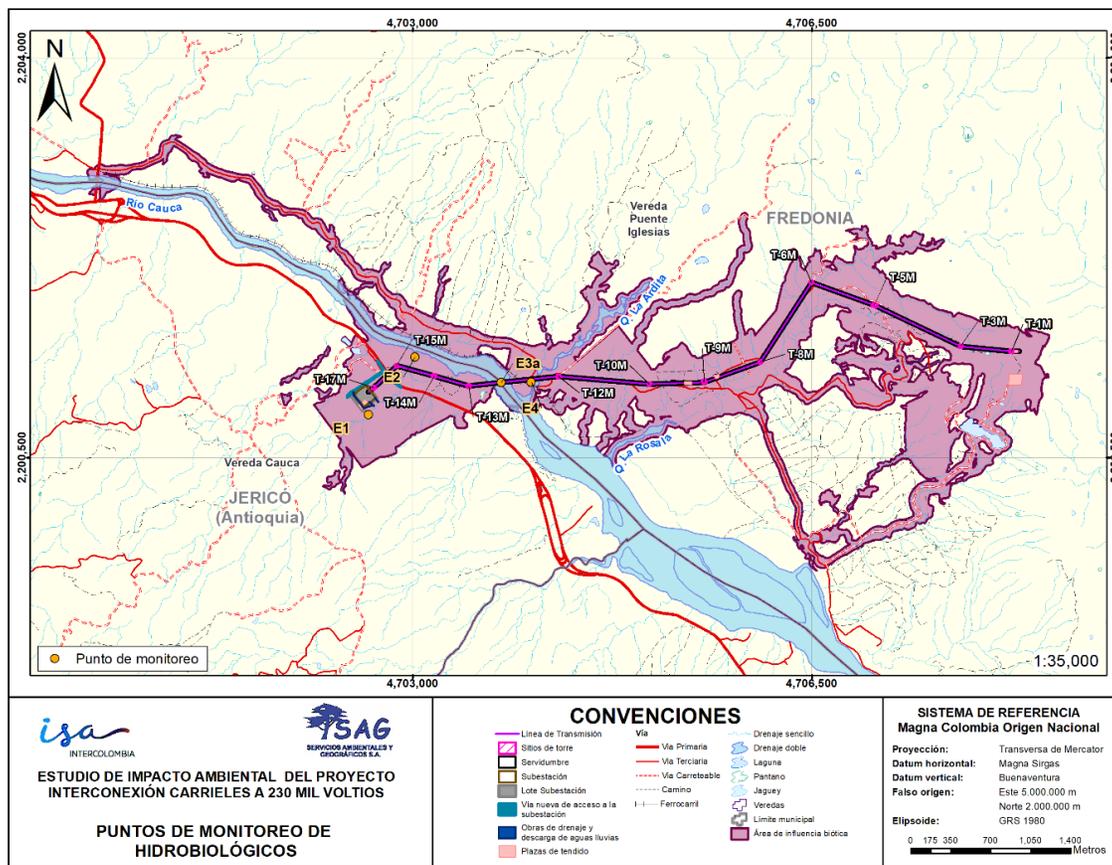
<sup>179</sup> MALDONADO-OCAMPO, Javier A., et al. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, DC Colombia, 2005.

<sup>180</sup> MOJICA, José Iván Ed, et al. *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia* (2012). 2012.

 <p><b>TSAG</b> SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</p>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 <p>INTERCOLOMBIA</p>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09	

ID	Nombre de la fuente	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
		W	N	Este	Norte
E3a	Río Cauca	75° 40' 33,131"	5° 48' 51,008"	4703776,615	2201155,941
E4	Quebrada NN (Quebrada La Ardita) <sup>181</sup>	75° 40' 24,612"	5° 48' 51,101"	4704038,79	2201157,562

Fuente: SAG, 2024



**Figura 2-27. Localización general de los puntos de muestreo hidrobiológico en el área de influencia biótica.**

Fuente: SAG, 2024

### 2.3.3.2.1.6 Aspectos metodológicos de la fase de campo y laboratorio

En este capítulo se describen las metodologías utilizadas para el monitoreo de las comunidades hidrobiológicas en campo y el análisis de laboratorio. Los soportes de campo

<sup>181</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.

y reportes de resultados, se pueden verificar en la carpeta del ANEXO\_5\_2\_12\_LABORATORIO del Capítulo 5.2 Caracterización del Área de Influencia – Medio Biótico, Exosistemas Acuáticos.

Para la toma de muestra de los diferentes grupos hidrobiológicos, se definió la estación de muestreo como un transecto de máximo 100 m, en el cual se identificaron y tuvieron en cuenta los diferentes hábitats presentes, con la finalidad de obtener una muestra representativa o la mejor diversidad de los distintos grupos biológicos.

#### 2.3.3.2.1.6.1 *Ficoperifiton*

El muestreo de perifiton se realizó mediante el raspado de diferentes sustratos sumergidos y fácilmente extraíbles en el punto de muestreo, como rocas, troncos, hojarasca y vegetación acuática. Como muestreador se empleó, un cuadrante de área conocida (5\*5 cm), el cual se ubicó en la parte superior del sustrato seleccionado. En todas las estaciones se efectuó el mismo número de raspados (10), con la finalidad de estandarizar el muestreo a un área total de (250 cm<sup>2</sup>) en un transecto de 100 m. Las muestras recolectadas se depositaron en frascos opacos debidamente rotulados, para posteriormente adicionarles Lugol (entre 0,5 a 1 ml por cada 100 ml de muestra) hasta obtener una coloración caramelo; finalmente, cada muestra se preservó con solución transeau (agua, alcohol al 96% y formol al 40%, en proporciones 6:3:1) en una relación 1:1 de volumen de muestra y solución (Fotografía 2-8). La muestra fue transportada dentro de neveras plásticas o de icopor protegida de la luz, para evitar la degradación del lugol (foto-oxidación).



**Fotografía 2-8. Métodos de recolección del perifiton**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.2.1.6.2 Macroinvertebrados acuáticos

Para la toma de muestra se utilizó una red tipo surber de 0,3 m x 0,3 m, con ojo de malla de 250  $\mu$ m. Se realizaron 10 tomas o barridos en los diferentes microhábitats presentes en el tramo seleccionado en cada una de las estaciones, según las características de estos (Fotografía 2-9). La muestra obtenida, se transfirió a bolsas plásticas debidamente rotuladas y posteriormente se adicionó solución narcotizante de cloruro de magnesio hasta cubrir la muestra; esto para evitar contracción o distorsión de los organismos. Finalmente se preservó la muestra con alcohol al 96 %.



**Fotografía 2-9. Métodos de recolección de macroinvertebrados acuáticos**

Fuente: SAG, 2024

#### 2.3.3.2.1.6.3 Macrófitas acuáticas

El muestreo de macrófitas se realizó en interfase agua-tierra y como muestreador se empleó un cuadrante de 1 m \*1 m (área de 1 m<sup>2</sup>), el cual se dispuso 10 veces dentro del tramo contemplado en cada estación. En cada cuadrante, fue tenido en cuenta el porcentaje de cobertura de las especies o morfotipos identificados y se le realizó el respectivo registro fotográfico, haciendo énfasis en las diferentes partes tales como raíces, tallos, hojas (haz y envés), flores etc. Finalmente, se recolectaron los morfotipos identificados (preferiblemente especímenes adultos), tratando de extraer el espécimen completo (raíces, hojas y flores) (Fotografía 2-10). Cuando fue necesario, se emplearon instrumentos de corte como navajas, cuchillos y palas de mano. Las macrófitas recolectadas se guardaron en papel periódico y se preservaron con alcohol al 70 % (humedeciéndolas en su totalidad) para posteriormente prensarlas hasta su traslado al laboratorio.



**Fotografía 2-10. Métodos de recolección de macrófitas acuáticas mediante cuadrante.**

Fuente: SAG, 2024

#### 2.3.3.2.1.6.4 Fauna íctica

Para el muestreo de peces, se emplearon diferentes artes de pesca, teniendo presente las condiciones ambientales, morfológicas e hidráulicas de la corriente. Las capturas con cualquiera de los artes mantuvieron en todos los casos, un esfuerzo de muestreo (captura por unidad de esfuerzo CPUE) para obtener valores estandarizados. Dentro de este factor de esfuerzo estuvieron los números de lances efectuados y el tiempo de uso de los artefactos. El método principal empleado en la captura de peces fue el uso de electropesca, con el cual se realizaron recorridos del tramo seleccionado en contracorriente por un tiempo máximo de hasta 45 minutos. Adicionalmente, se empleó la atarraya (1 cm de ojo de malla), con la cual se efectuaron hasta 30 lances a lo largo del tramo (Fotografía 2-11).

Los peces capturados fueron mantenidos en agua del medio y se le realizó la toma de datos biométricos (talla y peso). Posteriormente, los individuos se colocaron en una solución en exceso de Eugenol y luego fueron fijados en formol al 10 % y guardados en recipientes plásticos debidamente rotulados para su transporte hasta el laboratorio.



**Fotografía 2-11. Métodos de captura y toma de datos biométricos de peces.**

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.2.1.7 Análisis de laboratorio

##### 2.3.3.2.1.7.1 Ficoperifiton

Para el conteo de organismos se agregó muestra en una cámara de conteo Palmer Maloney y la observación se hizo bajo un microscopio BX 2000/BX3000. Se dejó reposar la muestra durante 5 minutos para la sedimentación de algas y otras partículas hacia la parte inferior de la cámara antes de iniciar el conteo. El conteo de las microalgas se realizó teniendo en cuenta un estimativo preliminar (mínimo 3 individuos por campo de 40 X) y se contó hasta completar un mínimo de 300 individuos en total, en un rango de 20 a 100 campos distribuidos al azar por placa o en varias placas.

Para la identificación taxonómica de los organismos recolectados se utilizaron claves taxonómicas<sup>182</sup>. Adicionalmente, se realizó registro fotográfico de los organismos identificados el cual fue comparado con iconografías del laboratorio. Los resultados de abundancia se reportaron como de densidad absoluta en individuos/cm<sup>2</sup>.

<sup>182</sup> BICUDO CE Y MENEZES MA. 2006. Géneros de algas de Aguas Continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 2da Edição. Rima editora. São Paulo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

#### 2.3.3.2.1.7.2 *Macroinvertebrados acuáticos*

La muestra obtenida de campo fue pasada a través de varios tamices para limpiar y separar la muestra de los sedimentos. Seguido a esto se adicionó rosa de bengala para teñir los organismos y alcohol al 96 % para continuar con la preservación. Por medio de lámparas lupa se separaron los individuos por medio de un barrido de derecha a izquierda dentro de bandejas blancas revisando cuidadosamente piedras, palos y restos vegetales donde se puedan adherir los organismos.

La identificación de la muestra se realizó usando un estereoscopio Hinotek ZTX-3E con objetivos de 1.4X y 10X. Dependiendo del estado de los organismos los macroinvertebrados fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible utilizando bibliografía especializada o claves de identificación<sup>183,184</sup>.

Los resultados de abundancia se reportaron como de densidad absoluta en individuos/m<sup>2</sup>.

#### 2.3.3.2.1.7.3 *Peces*

En el laboratorio, los ejemplares fueron lavados con agua y almacenados en alcohol al 70% y posteriormente para su identificación, fueron observados bajo estereoscopio y microscopio. Para su identificación se utilizaron literatura especializada<sup>185,186,187,188,189,190</sup>. Adicionalmente, se consultaron bibliografía específica para verificar la presencia de especies amenazadas<sup>191</sup>, endémicas, migratorias o de importancia comercial en el Área de Influencia biótica. Finalmente, los ejemplares recolectados, serán depositados en colecciones biológicas, según respuesta a las cartas de solicitud.

#### 2.3.3.2.1.7.4 *Macrófitas acuáticas*

Se revisaron los registros fotográficos tomados en campo de las estructuras de las macrófitas tales como raíces, tallos, forma de hojas, frutos y flores y con base en las observaciones realizadas en la inspección en campo se identificaron hasta el nivel

<sup>183</sup> DOMÍNGUEZ, Eduardo; FERNÁNDEZ, Hugo R. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 2009, vol. 656.

<sup>184</sup> MERRITT RW, CUMMINS KW, BERG MB (eds.). 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. Fourth edition. Dubuque (U.S.A.): Kendall/Hunt Publishing Company. p. 1158.

<sup>185</sup> MALDONADO-OCAMPO JA, ORTEGA-LARA A, USMA O, GALVIS V, VILLA-NAVARRO FA, VÁSQUEZ GL, PRADA-PEDREROS S, ARDILA RC. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt». Bogotá, D.C. -Colombia.

<sup>186</sup> SCHAEFER SA. 2003. Family Astrolepididae. En: Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ Jr. Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America.

<sup>187</sup> GERY J. 1977. Characoids of the World. Neptune City, NJ: T.F.H. Publications Ltd.

<sup>188</sup> DAHL G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Bogotá: Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA). Talleres Litografía Arco.

<sup>189</sup> SCHULTZ LP. 1944. The catfishes of Venezuela, with descriptions of thirty-eight new forms. Proceedings of the United States National Museum, 94: 173-338.

<sup>190</sup> REGAN CT. 1903. A Monograph of the Fishes of the Family Loricariidae. The Transactions of the Zoological Society of London 17, 191-350.

<sup>191</sup> MADS. Resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017 por la cual se establece el listado de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. 2017.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

taxonómico más bajo posible mediante claves taxonómicas especializadas<sup>192,193</sup>. Los resultados se reportaron como porcentaje de cobertura en m<sup>2</sup>.

#### 2.3.3.2.1.8 Análisis de la información de los grupos hidrobiológicos

##### 2.3.3.2.1.8.1 Composición y estructura

La descripción de la composición y la estructura de los grupos hidrobiológicos (fictoperifiton, macroinvertebrados acuáticos, macrófitas acuáticas y fauna íctica) analizados en el área de influencia del Proyecto se realizó a partir de los resultados de los análisis taxonómicos y el conteo de la abundancia y/o densidad de los organismos.

Se realizaron gráficas de tortas para la composición general, para representar la contribución del número de taxones, abundancia y/o biomasa de individuos por división, órdenes, clase o género según la comunidad analizada, a nivel de todo el estudio. Asimismo, se hicieron gráficos de barras para visualizar las tendencias de la densidad entre los puntos muestreados.

En el caso particular de la fauna íctica se realizó el análisis de información sobre distribución geográfica, estado de conservación y aspectos migratorios y endemismos de las especies registradas, usando como referencias Fricke *et al.*<sup>194</sup>, Mojica *et al.*<sup>195</sup>, UICN<sup>196</sup> y Zapata y Usma<sup>197</sup> y con los macroinvertebrados se analizó la calidad el agua de los sitios monitoreados mediante el cálculo del índice de calidad del agua basado en macroinvertebrados BMWP/Col, acompañado del ASPT, propuesto por Alvarez-Arango<sup>198</sup> (ver Tabla 2-79, Tabla 2-80 y Tabla 2-81).

**Tabla 2-79. Calificación de taxones para el índice biótico BMWP modificado y actualizado por Álvarez (2005).**

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Chordodidae, Gripterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarciidae, Polythoridae, Psephenidae, Ptilodactylidae.	10
Coryphoridae, Ephemeraidae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9

<sup>192</sup> MADRIÑÁN, Santiago, et al. Plantas acuáticas de la Orinoquia colombiana. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes, 2017.

<sup>193</sup> POSADA, J. A.; LÓPEZ, M. T. Plantas acuáticas del altiplano del oriente antioqueño, Colombia. Rionegro: Universidad Católica de Oriente, 2011, p. 121.

<sup>194</sup> FRICKE R, ESCHMEYER WN, VAN DER LAAN R. 2020. Op. Cit.

<sup>195</sup> MOJICA, JOSÉ IVÁN. USAMA-OVIEDO, Jose. ALVAREZ LEÓN, Ricardo y LASSO, Carlos. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (2012). 2012. 319 p.

<sup>196</sup> UICN 2023. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2023. <http://www.iucnredlist.org>.

<sup>197</sup> ZAPATA, L. A.; USMA, J. S. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Peces. Bogota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible/WWF-Colombia, 2013.

<sup>198</sup> ALVAREZ-ARANGO, Luisa Fernanda. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2005.

Familias	Puntaje
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae, Trichodactylidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dictteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hydrochidae, Hyriidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbiidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Dolichopodidae, Empididae, Ephyridae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Hydrometridae, Muscidae, Noteridae, Sciomyzidae, Scirtidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae	3
Chironomidae, Culicidae, Isotomidae, Psychodidae, Shyrphidae	2
Haplotaxida, Tubificidae	1

*Fuente: Álvarez-Arango, 2005*

**Tabla 2-80. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP.**

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	≥150	Aguas muy limpias	
		123-149	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	
V	Crítica	21-45	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<20	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

*Fuente: Álvarez-Arango, 2005*

**Tabla 2-81. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice ASPT.**

Clase	Calidad	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	>9 -10	Aguas muy limpias	
		>8 - 9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	>6.5 - 8	Ligeramente contaminada: se evidencian efectos de contaminación	

Clase	Calidad	Valor del ASPT	Significado	Color
III	Dudosa	>4.5 – 6.5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	>3 – 4.5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	1 - 3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

*Fuente: Álvarez-Arango, 2005*

### 2.3.3.2.1.8.2 Índices ecológicos

Para las comunidades hidrobiológicas se calcularon los índices ecológicos de riqueza numérica, diversidad de Shannon-Wiener<sup>199</sup>, equitatividad de Pielou<sup>200</sup> y dominancia de Simpson<sup>201</sup> para evaluar el grado de complejidad de especies en una comunidad y sus variaciones en los diferentes puntos del muestreo, visualizadas mediante gráficos de columna. El cálculo de los índices se utilizó el programa PRIMER versión 7. En la Tabla 2-82 se presentan las ecuaciones de los índices mencionados anteriormente.

**Tabla 2-82. Ecuaciones y descripciones de los índices ecológicos.**

Índice	Ecuación	Observaciones
Shannon-Wiener	$H = - \sum_i \left( \frac{n_i}{N} \right) * \ln \frac{n_i}{N}$	H': índice de Shannon – Wiener P <sub>i</sub> : abundancia relativa
Simpson	$D = 1 - \sum_i \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$	N: número total de individuos n <sub>i</sub> : número de individuos por especie
Pielou	$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$	H' max: ln (S)

*Fuente: SAG, 2024*

### 2.3.3.2.1.8.3 Relación con las variables ambientales

Para determinar las posibles relaciones entre el componente biótico (atributos comunitarios) y el abiótico (variables ambientales), se realizó un análisis descriptivo debido a que el tamaño muestral fue poco. Con apoyo de gráficos de barra, se analizaron las posibles tendencias entre la matriz biótica y abiótica.

199 SHANNON, C. E., & WEAVER, W. University of Illinois Press; Urbana, IL: 1949. The mathematical theory of communication, 144.

200 WIEGAND, H. Pielou, EC An introduction to mathematical ecology. Wiley Interscience. John Wiley & Sons, New York 1969. VIII+ 286 S., 32 Abb., Preis 140 s. Biometrische Zeitschrift, 1971, vol. 13, no 3, p. 219-220.

201 SIMPSON, Edward H. Measurement of diversity. nature, 1949, vol. 163, no 4148, p. 688-688.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

### 2.3.3.2.2 Ecosistemas Estratégicos, Sensibles y/o Áreas Protegidas

Para identificar si en el Área de Influencia Biótica existen áreas protegidas u otros instrumentos de ordenamiento/planificación, así como otras áreas de reglamentación especial: ecosistemas estratégicos identificados a nivel local, regional, nacional, y/o internacional y áreas con prioridades de conservación contempladas por parte de Parques Nacionales Naturales de Colombia, se consultaron vía web fuentes como el Sistema Nacional de áreas protegidas (SINAP), el portafolio de conservación del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y plataforma AGIL de ANLA, además se consultaron los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) para el municipio de Jericó y Fredonia, POMCA del río Amagá y la información del Visor Geográfico de Corantioquia. Según lo anterior, se revisaron las siguientes capas geográficas:

- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Fredonia adoptado por el Decreto 341 de 2000.
- EOT del municipio de Jericó adoptado por el Acuerdo 01 de 2023.
- POMCA Directos al río Cauca – Río Amagá y Q. Sinifaná, adoptado mediante Resolución CORANTIOQUIA 040-RES1811-6715 del 2018.
- Plan de Ordenamiento Forestal.
- Determinantes ambientales definidas por CORANTIOQUIA.
- Áreas establecidas para la ejecución de compensaciones por procesos de licenciamiento o permisos, de acuerdo con las consultas oficiales realizadas en ANLA y CORANTIOQUIA.
- Áreas con prioridades de conservación contempladas por Parques Nacionales Naturales.

### 2.3.3.3 Medio socioeconómico

El presente apartado detalla los procedimientos metodológicos que se llevaron a cabo para el desarrollo la caracterización del Estudio de Impacto Ambiental- EIA, específicos del medio socioeconómico. En este sentido, se describe el marco normativo, las fuentes de información, las herramientas de trabajo para la ejecución de las actividades contempladas, los métodos y técnicas que llevaron a la caracterización del área de influencia del proyecto, la cual se estructuró en tres fases: precampo([preliminar](#)), campo y poscampo.

La caracterización del medio socioeconómico se realizó teniendo en cuenta la normatividad vigente, de conformidad con lo establecido en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica - TdR 17 de 2018, los alcances definidos en la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018 y la Guía de participación ciudadana 2018, todos instrumentos emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

En tal sentido, fue necesario partir de la estructuración de una metodología incluyente y de reconocimiento de la participación como un derecho que tienen las comunidades de conocer los estudios y obras que se desarrollan en sus territorios o próximos a ellos, y que pudieran llegar a causar cambios en la dinámica y funcionalidad de estos.

Resultó relevante para la caracterización, facilitar la participación efectiva y continua de los diferentes actores sociales, institucionales, organizaciones sociales, propietarios y en general los actores presentes en los territorios de influencia del proyecto, tanto en espacios de diálogo, como en la recopilación de información primaria y secundaria, lo cual posibilitó la contribución en la construcción colectiva de conocimiento y se reflejó en los resultados de inclusión de los aspectos sensibles del Estudio de Impacto Ambiental.

#### Marco Normativo

El proceso de participación y socialización se llevó a la práctica con el reconocimiento del derecho a la información de los actores comunitarios, institucionales y gubernamentales a cargo de las unidades político administrativas y territoriales, aportando contenidos veraces y oportunos, alineados a la normatividad vigente para Colombia, a la Política Ambiental y de Responsabilidad Social Empresarial RSE de ISA INTERCOLOMBIA con relación a la participación ciudadana en el desarrollo de proyectos e intervención de los recursos naturales. En este sentido, considerando la participación y el acceso a la información como pilares fundamentales para la construcción del desarrollo sostenible, ISA INTERCOLOMBIA, promueve la protección y cumplimiento de los derechos y deberes ciudadanos, basados en la siguiente normatividad colombiana aplicable.

**Tabla 2-83. Marco normativo concerniente a la elaboración del EIA y el desarrollo del proceso de participación y socialización con las comunidades.**

Norma	Descripción
<b>Constitución Política de Colombia 1991. Título I De los principios fundamentales</b>	
<b>Artículo 1</b>	Colombia es un Estado social de derecho, organizado en forma de República unitaria, descentralizada, con autonomía de sus entidades territoriales, democrática, participativa y pluralista, fundada en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que la integran y en la prevalencia del interés general.
<b>Artículo 2</b>	Son fines esenciales del Estado facilitar la participación en las decisiones que afectan la vida económica, política, administrativa y cultural de la nación.
<b>Constitución Política de Colombia 1991. Título II De los derechos, garantías y los deberes</b>	
<b>Artículo 20</b>	Se garantiza a toda persona la libertad de expresar y difundir su pensamiento y opiniones, la de informar y recibir información veraz e imparcial.
<b>Artículo 40</b>	Todo ciudadano tiene derecho a participar en la conformación, ejercicio y control del poder político.
<b>Artículo 79</b>	Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
<b>Ley 99 de 1993</b>	

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Norma	Descripción
Sobre la conservación del medio ambiente y recursos naturales renovables y la organización de los entes públicos encargados de esta función.	
<b>Artículo 1</b>	Hace realidad la Declaración de Principios de Río de Janeiro, y crea a la vez, el Sistema de Información Ambiental (SIAC) que es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos y tecnologías implicados en la gestión de información ambiental del país. El SIAC facilita la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible, a través de diversos mecanismos encaminados a asegurar la participación de la comunidad en los trámites en los que se adopten decisiones en materia ambiental, entre ellos, las audiencias públicas.
<b>Artículo 69</b>	Del derecho de cualquier persona natural, jurídica o privada a intervenir en procedimientos administrativos ambientales, esto es, la expedición, modificación o cancelación de permisos o licencias de actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente o por el incumplimiento de las normas y regulaciones ambientales.
<b>Artículo 70</b>	Del trámite de las peticiones de intervención. La entidad administrativa competente al recibir una petición para iniciar una actuación administrativa ambiental o al comenzarla de oficio, dictará un acto de iniciación de trámite que notificará y publicará en los términos de los artículos 14 y 15 del Código Contencioso Administrativo, y tendrá como interesado a cualquier persona que así lo manifieste con su correspondiente identificación y dirección domiciliaria. Toda entidad perteneciente al Sistema Nacional Ambiental publicará un boletín con la periodicidad requerida que se enviará por correo a quien lo solicite.
<b>Artículo 71</b>	De la publicidad de las decisiones sobre el medio ambiente. Las decisiones que pongan término a una actuación administrativa ambiental para la expedición, modificación o cancelación de una licencia o permiso que afecte o pueda afectar el medio ambiente y que sea requerida legalmente, se notificará a cualquier persona que los solicite por escrito y se le dará publicidad.
<b>Artículo 72</b>	De las audiencias públicas administrativas sobre decisiones ambientales en trámite. Las autoridades ambientales, regionales y locales, y entidades sin ánimo de lucro, podrán solicitar la realización de audiencia pública para el otorgamiento de permiso o licencia ambiental, cuando se desarrolle o pretenda desarrollarse una obra o actividad que pueda causar impacto al medio ambiente o los recursos naturales renovables, para el cual se exija permiso o licencia ambiental respectiva.
<b>Artículo 74</b>	Del derecho de petición de información. Toda persona natural o jurídica tiene derecho a formular peticiones de información en relación con los elementos susceptibles de producir contaminación o que su uso pueda ocasionar peligro a la salud humana. Toda persona podrá invocar su derecho a ser informada sobre el monto y utilización de los recursos financieros, que están destinados a la preservación del medio ambiente.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Norma	Descripción
<b>Ley 134 de 1994</b>	
Por la cual se dictan normas sobre mecanismos de participación ciudadana. Regula la iniciativa popular legislativa y normativa, el referendo, la consulta popular, la revocatoria del mandato, el plebiscito y el cabildo abierto.	
<b>Artículo 100</b>	Señala que las organizaciones civiles podrán constituir veedurías ciudadanas o juntas de vigilancias en todos los niveles territoriales, con el fin de vigilar la gestión pública y la prestación de servicios públicos.
<b>Decreto 879 de 1198</b>	
Reglamentación de planes de ordenamiento territorial	
<b>Decreto 150 de 21/01/1999</b>	
Respecto a la vigencia de los Planes de Ordenamiento Territorial	
<b>Decreto 330 de 2007</b>	
Reglamenta las audiencias públicas ambientales como un instrumento de participación ciudadana que permite dar a conocer a las organizaciones sociales, comunidad en general, entidades de orden nacional, departamental o municipal, ya sean de naturaleza pública o privada, la solicitud de licencia ambiental, permisos o concesiones ambientales.	
<b>Ley 397 de 1997</b>	
Sobre la protección del patrimonio arqueológico	
<b>Ley 472 de 1998</b>	
Sobre el ejercicio de las acciones populares y de grupos	
<b>Ley 743 de 2002</b>	
Por la cual se desarrolla el artículo 38 de la Constitución Política de Colombia en lo referente a los organismos de acción comunal. Por medio de la promoción y fortalecimiento de la organización democrática, moderna, participativa y representativa en los organismos de acción comunal y sus respectivos grados asociativos.	
<b>Ley 1712 de 2014</b>	
Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones. ARTÍCULO 1. Objeto. El objeto de la presente ley es regular el derecho de acceso a la información pública, los procedimientos para el ejercicio y garantía del derecho y las excepciones a la publicidad de información.	
<b>Ley 1757 de 2015</b>	
Se dictan disposiciones en materia de promoción y protección del derecho de participación democrática en la vida política, cultural, social, económica y administrativa del país; regulando la iniciativa popular y normativa ante las corporaciones públicas, el referendo, la consulta popular, la revocatoria del mandato, el plebiscito y el cabildo abierto; y establece las normas fundamentales por las que se regirá la participación democrática de las organizaciones civiles.	
<b>Decreto 2811 de 1974</b>	
Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. Al ser el ambiente patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.	
<b>Ley 1715 de 2014</b>	
Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional del país, ofreciendo beneficios tributarios como exclusión del IVA, reducción hasta de un 50% del impuesto sobre la renta, para aquellos que inviertan directamente en este sentido; exención de gravamen arancelario en la importación de maquinaria, equipos, materiales	

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Norma	Descripción
	e insumos destinados a labores de pre inversión e inversión de proyectos de energías renovables no convencionales, entre otros beneficios.
	<b>Decreto 2143 de 2015</b>
	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014.
	<b>Decreto 1076 de 2015</b>
	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
	<b>Decreto 2041 de 2015</b>
	De la participación de las comunidades de las áreas a intervenir con el proyecto. Se deberá informar a las comunidades el alcance del proyecto, con énfasis en los impactos y las medidas de manejo propuestas y valorar e incorporar en el estudio de impacto ambiental, cuando se consideren pertinentes, los aportes recibidos durante este proceso. En los casos en que se requiera, deberá darse cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 76 de la Ley 99 de 1993, en materia de consulta previa con comunidades indígenas y negras tradicionales (Art.15).
	<b>Ley 2294 de 2023</b>
	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”. El Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”, que se expide por medio de la presente ley, tiene como objetivo sentar las bases para que el país se convierta en un líder de la protección de la vida a partir de la construcción de un nuevo contrato social que propicie la superación de injusticias y exclusiones históricas, la no repetición del conflicto, el cambio de nuestro relacionamiento con el ambiente y una transformación productiva sustentada en el conocimiento y en armonía con la naturaleza. Este proceso debe desembocar en la paz total, entendida como la búsqueda de una oportunidad para que todos podamos vivir una vida digna, basada en la justicia; es decir, en una cultura de la paz que reconoce el valor excelso de la vida en todas sus formas y que garantiza el cuidado de la casa común.
	<b>Acuerdo de Escazú 2019<sup>202</sup></b>
	El Acuerdo de Escazú es un acuerdo regional sobre el acceso a la información, la participación pública y el acceso a la justicia en asuntos ambientales en América Latina y el Caribe, el cual tiene como objetivo “garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible” (art. 1). El Acuerdo desarrolla 27 artículos integrados en los siguientes bloques temáticos: Principios (artículo 3); Acceso a la información ambiental (artículos 5 y 6); participación pública en los procesos de toma de decisiones (artículo 7); acceso a la justicia en asuntos ambientales (artículo 8); defensores de los derechos humanos en asuntos ambientales (artículo 9); implementación, capacidades y cooperación (artículos 10, 11, 12, 13 y 14); órganos, mecanismos institucionales (artículo 15, 17 y 18) y normas o mecanismos procedimentales ( artículos 16,19,20,21,22,23,24,25 y 26).

<sup>202</sup> Tras convertirse en ley en el Congreso y tener la sanción presidencial, para que el acuerdo sea plenamente ratificado en Colombia aún debe ser revisado por la Corte Constitucional, que debe analizar si dicha ley está en sintonía con las normas constitucionales del país.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Norma	Descripción
	<p>Por otro lado, los antecedentes del Acuerdo de Escazú, en Colombia son: en 2013 se firma la Declaración sobre la aplicación del Principio 10, sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, en 2014 se inician las negociaciones para el diseño y adopción de un instrumento que promueva la implementación de los derechos de acceso a la información, participación y justicia ambiental, en 2018 se hace la adopción del Acuerdo Regional sobre el acceso a la información, la participación pública y el acceso a la justicia en asuntos ambientales en América y el Caribe, en 2019 se instala en Colombia promovido por el Gobierno Nacional, la Mesa de Medio Ambiente, siendo uno de los asuntos prioritarios la ratificación del Acuerdo de Escazú, en 2021 se realizan jornadas de socialización en diferentes regiones del país, de la entrada en vigencia del acuerdo el 22 de abril de 2021 y el 5 de noviembre 2022 el gobierno Nacional ratifica por medio de la Ley 2273 de 2022, el Acuerdo de Escazú.</p> <p>A la fecha, pese a que la Ley 2273 de 2022 cuenta con sanción presidencial, para que el acuerdo sea finalmente ratificado se encuentra pendiente la revisión de la Corte Constitucional, la cual debe analizar si dicha ley está en sintonía con las normas constitucionales y si cumple el procedimiento establecido para la adopción de tratados internacionales en materia de derechos humanos.</p>

*Fuente: SAG, 2023 con base en Marco Normativo Colombiano, Listado Normatividad Ambiental de la ANLA*

#### 2.3.3.3.1 Desarrollo del Proceso de Participación y Socialización con las Comunidades

Para llevar a cabo el proceso de participación e información con los actores institucionales y comunitarios en el área de influencia del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, se implementó una metodología incluyente y de cara a los distintos actores presentes en el territorio. Se desarrollaron momentos de información y participación comunitaria con diferentes propósitos, a nivel de los distintos grupos de interés : departamental, ambiental, municipales, Provincia de Administración y Planificación, organizaciones políticas y legislativas, organizaciones de control y entes descentralizados, instancias de concertación territorial, organizaciones sociales de la sociedad civil, instituciones educativas, parcelaciones, gestores culturales, pobladores y propietarios de predios a intervenir, con el fin de asegurar la participación y acceso a la información.

Los primeros acercamientos, convocatorias y espacios de reunión para el proceso de información, se enmarcaron de acuerdo con el grado de incidencia política y territorial, así: Corporación Autónoma Regional CAR, en este caso, CORANTIOQUIA, la Gobernación de Antioquia y las alcaldías municipales de Fredonia y Jericó, líderes sociales y ambientales, propietarios de predios a intervenir y comunidad en general de las unidades territoriales identificadas en el área de influencia del proyecto, así como mesas ambientales y veedurías ciudadanas.

Para su desarrollo, se aplicaron distintas herramientas comunicativas y tecnológicas como correos electrónicos, llamadas telefónicas y mensajería de texto y WhatsApp. De este modo, se ejecutaron las siguientes estrategias para los distintos momentos de participación ciudadana:

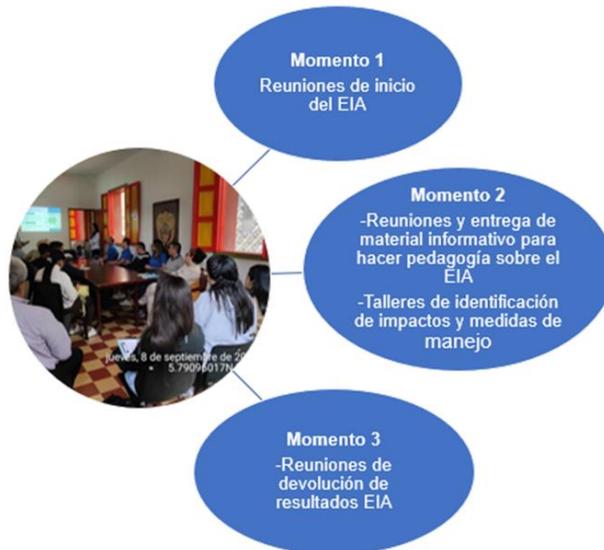
- Construcción de bases de datos o directorio de los grupos de interés.
- Realización de un diagnóstico previo denominado análisis de riesgos y expectativas que consistió en el desarrollo de una entrevista semiestructurada para identificar sus

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

necesidades de información, los canales empleados y los medios más usados y pertinentes a través de los cuales transmitir los mensajes sobre el Proyecto.

- Elaboración y formalización de comunicaciones escritas.
- Relacionamiento directo con los distintos grupos de interés.
- Programación y concertación de las reuniones de información y participación.
- Atención de inquietudes de los distintos grupos de interés.
- Diseño y aplicación de ficha de caracterización socioeconómica por localidad.
- Diseño de piezas de divulgación utilizadas para el proceso de convocatoria y refuerzo del proceso informativo como afiches y volantes.
- Preparación de presentaciones en Power Point para cada momento de acuerdo con los alcances determinados.

El proceso de información, participación y socialización con los diferentes grupos de interés del área de influencia se desarrolló en tres (3) momentos con sus respectivos alcances. En el primer momento se realizaron reuniones de Notificación del Auto 05440 del 15 de julio de 2022 y socialización del inicio del Estudio de Impacto Ambiental – EIA-, en las cuales se proporcionó información relacionada con las características técnicas, actividades, grupos de interés y alcances del proyecto y del EIA. El segundo momento, se estructuró en dos (2) escenarios de encuentro con las comunidades y las autoridades locales, el primero se configuró en torno a la importancia de pedagogizar y acercar a los distintos actores del territorio a los contenidos del Estudio de Impacto Ambiental y los términos de referencia para la elaboración del mismo en proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica (TdR 17) y el segundo en torno a la ejecución de talleres participativos para la identificación de impactos ambientales y la formulación de medidas de manejo ambiental; y en el tercer momento, se llevaron a cabo reuniones de socialización de resultados del Estudio de Impacto Ambiental con los distintos actores involucrados, de manera previa a la entrega del EIA a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. Tal y como se indica en la Figura 2-28.



**Figura 2-28. Fases proceso de socialización de información del EIA.**

*Fuente: SAG, 2024*

Para el desarrollo de cada uno de los espacios informativos, se estableció relacionamiento con los diferentes actores, con el fin de concretar las agendas de reuniones y talleres, y así proceder con las convocatorias correspondientes para cada momento del proceso. Además, se contó con la presencia permanente de profesionales ambientales, sociales y prediales de ISA INTERCOLOMBIA, , permitiendo establecer un ambiente de confianza e intercambio de puntos de vista, para de este modo evitar la generación de falsas expectativas.

Vale anotar que, además de la ruta metodológica estructurada en tres (3) momentos, ISA INTERCOLOMBIA consideró importante contar con una estrategia transversal de comunicación, gestión social en campo con las autoridades locales, organizaciones sociales y comunidades, y prestó especial atención al relacionamiento uno a uno con los propietarios de los predios a intervenir y a la atención oportuna de peticiones, quejas y reclamos – PQRS en el marco del proyecto y el desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental.

Para realizar este proceso informativo, se identificaron los diferentes grupos de interés en el departamento y los municipios que contienen las unidades territoriales del área de influencia del proyecto, tal y como se expone en la Tabla 2-84.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

**Tabla 2-84. Grupos de interés para el proceso de participación y socialización con las comunidades.**

Departamento	Tipo de grupo	Grupo de interés
Antioquia	Departamental	Gobernación de Antioquia
	Ambiental	Corantioquia-Oficina Central
	Ambiental	Corantioquia-Oficina Territorial Cartama
	Provincia de Administración y Planificación	Provincia de Administración y Planificación Cartama
	Municipales	Alcaldías de los municipios de Fredonia y Jericó
	Organización política y legislativa	Concejos Municipales de Fredonia y Jericó
	Órganos de control y entes descentralizados	Personerías de los municipios de Fredonia y Jericó
	Instancias de concertación territorial	Consejos Territoriales de Planeación - CTP Consejo Municipal de Cultura de Fredonia y Jericó Consejos Municipales para la gestión del riesgo de desastres (CMGRD)
	Organizaciones sociales de la sociedad civil con enfoque comunitario	ASOCOMUNAL de los municipios de Fredonia y Jericó. Juntas de Acción comunal de las veredas Cauca y Puente Iglesias.
	Organizaciones sociales de la sociedad civil con enfoque ambiental	Mesas Ambientales de Fredonia y Jericó Veedurías ciudadanas
	Instituciones Educativas	Docentes Centros Educativos Rurales en Puente Iglesias y Cauca
	Parcelaciones	Representantes y administradores de las parcelaciones existentes en las veredas Puente Iglesias y Cauca.
	Empresas	Grupos y entidades de Parapente. EPM.
	Gestores Culturales	Museo de arqueología y Antropología de Jericó – MAJA y Grupo de Vigías del Patrimonio de Fredonia. Centro de Historia de Jericó.
	Pobladores	Personas residentes en las veredas Cauca de Jericó y Puente Iglesias de Fredonia con residencia permanente u ocasional.
Propietarios de predios a intervenir	Propietarios o encargados	

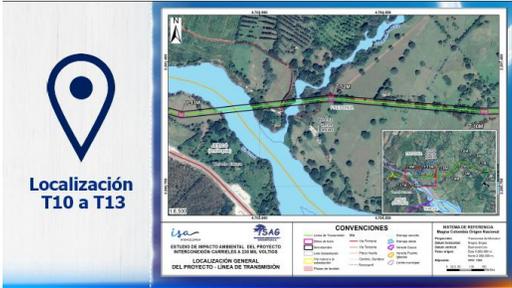
Fuente: SAG, 2024

Se elaboraron y radicaron oficios de presentación del Promotor y del consultor y del proyecto, y a la vez la solicitud de información ante las autoridades municipales,

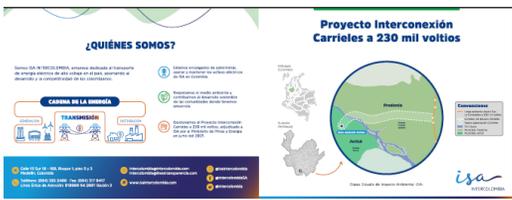
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

ambientales, regionales y nacionales correspondientes. Así mismo, oficios de convocatoria para los actores sociales (autoridades, propietarios de predios y representantes comunitarios, entre otros), los cuales se enviaron con ocho (8) días de anticipación para las reuniones de socialización, en los cuales se indicó la fecha, hora y lugar para los diferentes momentos de información y socialización de proyecto. A continuación, se relacionan las herramientas de convocatoria y divulgación de la información que se usaron en el proceso informativo.

**Tabla 2-85. Herramientas de convocatoria y divulgación de la información en el marco del proceso de participación.**

Herramienta	Descripción
	<p>Comunicación vía celular y mensajes de WhatsApp con autoridades locales, comunidades y líderes para realizar convocatoria preliminar y concertación de agendas a los espacios de reunión.</p>
	<p>Oficios dirigidos a las autoridades ambientales, Alcaldes municipales, Secretarías de Despacho, Personerías, Concejos Municipales, organizaciones de la sociedad civil, empresas, líderes comunitarios y representantes de unidades territoriales.</p>
	<p>Presentación del proyecto con el objetivo de informar a las Autoridades locales, departamentales, ambientales, líderes JAC y comunidades del área de influencia, los alcances del Proyecto y del Estudio de Impacto Ambiental - EIA.</p>

Herramienta	Descripción
 <p>Formulario de registro de asistencia durante el desarrollo de las reuniones de socialización.</p>	<p>Formato para diligenciamiento de registro de asistencia durante el desarrollo de las reuniones de socialización</p>
 <p>Formato de acta de reunión, utilizado con los diferentes grupos de interés en cada una de las reuniones de socialización realizadas.</p>	<p>Formato de acta de reunión, utilizado con los diferentes grupos de interés en cada una de las reuniones de socialización realizadas</p>
 <p>Tarjeta de invitación para reforzar la convocatoria a los espacios de socialización.</p>	<p> Afiche (tarjeta de invitación) para reforzar la convocatoria a los espacios de socialización</p>

Herramienta	Descripción
	<p>Cartilla sobre elaboración del EIA para apoyar los talleres ejecutados</p>
	<p>Plegable informativo en físico y digital para apoyar el proceso informativo con las comunidades y propietarios de los predios del área de influencia</p>
	<p>Rotafolio en físico, el cual se utilizó como herramienta pedagógica que ayudo a visualizar la información sobre el EIA y el proyecto</p>
	<p>Comunicado en <a href="#">prensa</a> para tener un mayor alcance con la información del proyecto en las comunidades</p>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Herramienta	Descripción
	Registros fotográficos y fílmicos, realizados durante la realización de los espacios de reunión y los talleres de recolección de información primaria

Fuente: SAG, 2024

Los encuentros de primer momento y tercer momento de información, participación y socialización, se llevaron a cabo en forma de plenaria expositiva cumpliendo los alcances estipulados por los TdR 017 de 2018. En el primero, se socializó la información relacionada con las características técnicas, actividades y alcance, tanto del proyecto como del EIA a desarrollar, y en el tercer momento, se socializaron los resultados del EIA, de manera previa a su radicación ante la Autoridad Ambiental.

Para la identificación de impactos y medidas de manejo ambiental (segundo momento), se utilizaron dos metodologías: en la primera parte del encuentro se llevó a cabo la presentación de las características del territorio en los medios abiótico, biótico y socioeconómico, con base en la información recabada con los instrumentos aplicados y las observaciones de campo realizadas. Se informó a las autoridades ambientales, locales y comunidades las principales características del territorio y los hallazgos relevantes obtenidos; y en la segunda parte, se implementó la estrategia de taller de impactos, cuyo fin correspondió a profundizar en los ejercicios de validación e identificación de impactos adicionales con sus respectivas medidas con base en el avance de la información socializada. Se ejecutó mediante técnicas participativas y en plenaria se analizaron los impactos por medio y componente y se diligenció una matriz con los nuevos impactos y medidas de manejo de acuerdo con la percepción de los participantes. [Con aquellos grupos de interés donde no se realizó esta actividad, en las reuniones de devolución de resultados, se ejecutó una lluvia de ideas para recibir retroalimentación respecto a los impactos y medidas de manejo ambiental, dejando la información consignada en el acta de la reunión.](#)

[Con los propietarios de los predios a intervenir y aquellos en donde se solicita el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables y no renovables se diseñó una ficha virtual en la plataforma KoboToolbox, la cual se remitió vía correo electrónico a cada uno de ellos y se diligenció de forma presencial.](#)

Las acciones descritas, como se mencionó fueron documentadas, mediante el diligenciamiento de actas de reunión, listas de asistencia, registros fotográficos, registros de convocatoria y demás documentación relacionada.

[Adicional a las reuniones de los 3 momentos de socialización, se generaron otros espacios informativos o recorridos para aclarar las inquietudes respecto a obras del proyecto con los](#)

 <p>SERVICIOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS S.A.</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b></p>	 <p>INTERCOLOMBIA</p>
		<p>Rev. No.: 3    2024-08-09</p>

vigías del Patrimonio del municipio de Fredonia y la comunidad del Sector La Guajira de la vereda Puente Iglesias.

#### **2.3.3.4 Fases procedimiento de recolección de información**

- Fase precampo

Para la caracterización del área de influencia en la fase precampo, se solicitó información según el requerimiento del estudio a entidades nacionales, regionales y locales, se enfatizó en los Esquemas de Ordenamiento Territorial de Jericó y Fredonia, los planes de desarrollo municipal, los planes de ordenación y manejo de cuencas (POMCA), los planes sectoriales (salud, educación, turismo, entre otros), los informes de rendición de cuentas con vigencia al año 2023, los directorios de organizaciones sociales, gremiales, comunitarias, étnicas o ambientales existentes; así como información de proyectos ejecutados entre los años 2022 y 2023, bases de datos del Sisbén e información de empresas prestadoras de servicios de salud. Se llevó un control de la información recibida lo que permitió evaluar la información faltante y solventar mediante el uso de otras fuentes de información.

Asimismo, previo al inicio de la caracterización del EIA, se solicitó información adicional a las Secretarías de Salud y Educación relacionada con tasas de natalidad y mortalidad, número de afiliados al sistema de salud, instituciones de salud y nivel de atención, así como número de instituciones educativas, número de alumnos matriculados en edad escolar y en extra-edad.

En las oficinas del Sisbén del municipio, se solicitó la base de datos anonimizada, así como los códigos correspondientes a las veredas y corregimientos. Paralelamente en la Corporación Autónoma Regional CORANTIOQUIA, se realizó la solicitud de información sobre los puntos de concesión de aguas y usuarios, el inventario de vertimientos de aguas residuales domésticos e industriales, los POMCAS vigentes, entre otros.

A las empresas de servicios públicos del municipio, se les requirió información relacionada con la cobertura y calidad de los servicios de acueducto, alcantarillado, sistemas de recolección y disposición de residuos, y energía eléctrica.

Durante esta fase, se realizó también la búsqueda y clasificación de la información secundaria existente para el proyecto, se diseñaron instrumentos de recolección de información y se elaboraron las agendas para realizar las diferentes actividades de recolección de información. Entre estas actividades se destacan las siguientes:

- Revisión del marco normativo.
- Revisión de licencias ambientales de proyectos similares y documentos soporte y evaluación de impactos genéricos a las áreas de influencia.
- Revisión de información secundaria para la caracterización de los componentes del medio socioeconómico.
- Validación e identificación del área de influencia del medio socioeconómico.
- Identificación de variables para la zonificación del área de influencia del proyecto, considerando los elementos sensibles.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Con base en el proceso de delimitación del área de influencia, se llevó a cabo el proceso de información y participación; se procedió a la consolidación de la base de datos de contactos y actores presentes en los municipios, tanto de los funcionarios de las administraciones municipales, personerías, Concejos Municipales y policía, como de los presidentes de las Juntas de Acción Comunal – JAC, las mesas ambientales, veedurías, entre otros y así como de los líderes de las unidades territoriales del área de influencia del proyecto.

- Fase de campo

Para la caracterización de las unidades territoriales, durante la fase de campo, se acudió a fuentes de información primaria, a través del uso del enfoque etnográfico, el cual permitió describir el contexto y las poblaciones del área de influencia del proyecto. Para ello, se utilizaron técnicas como entrevistas por medio de una ficha de caracterización por localidad, conversaciones informales y observación directa<sup>203</sup> durante los recorridos en campo, entre otros.

La ficha por localidad se aplicó en las unidades territoriales con la información disponible de los líderes comunitarios mediante la técnica de grupos focales. Su alcance fue el de caracterizar los aspectos socioeconómicos de las unidades territoriales del AI que responden a los componentes del medio y a variables de GDB. Con un guion de entrevista secuencial se abordaron cinco (5) ejes temáticos relacionados con:

- Poblamiento y territorio.
- Servicios públicos y sociales.
- Aspectos económicos.
- Medios de comunicación, organizaciones sociales y comunitarias en el AI.
- Aspectos político-organizativos.
- Aspectos culturales.
- Infraestructura vial (movilidad y conectividad).
- Proyectos y otros datos relevantes.

De igual modo, se georreferenció la infraestructura social, equipamientos y elementos importantes para las comunidades (escuelas parques, escenarios deportivos, entre otros) y bienes de interés cultural; lo cual permitió organizar la información de la infraestructura social y económica presente en unidades territoriales que son de importancia para las comunidades y que sea vulnerables a impactos por el proyecto.

---

<sup>203</sup> Esta técnica permite obtener información acerca de elementos del territorio y de la territorialidad de sus habitantes, brinda elementos relevantes para la construcción e interpretación del contexto donde se desarrollará el proyecto, así mismo conlleva la identificación de actividades sociales o culturales, símbolos o actividades cotidianas de las comunidades del área de influencia del proyecto. Es de aclarar que la observación directa no implica necesariamente observación participante

Además, se llevaron a cabo recorridos por el área de intervención del proyecto, con el objetivo de identificar alguna interferencia o sensibilidad con la infraestructura social, económica y comunitaria.

Adicionalmente, para fomentar la participación del grupo de interés propietarios se diseñó una ficha virtual en la plataforma KoboToolbox (ver Figura 2-29), la cual fue enviada vía correo electrónico y se diligenció de forma presencial con los propietarios de los predios a intervenir. Este instrumento incluye los siguientes apartados:

- **Objetivos y descripción del proyecto:** contó con un apartado que da cuenta de los objetivos y descripción del proyecto, de igual modo, se mostró una imagen con el trazado de la línea eléctrica, la ubicación de la subestación Carrieles y las otras obras del proyecto. Punto seguido, se relacionó un enlace para conocer la presentación del segundo momento del Programa de Información y Participación Comunitaria y así permitir una comprensión amplia el proyecto.
- **Identificación de impactos y medidas de manejo ambiental:** se relacionó la definición de los conceptos impacto y medida de manejo y se muestra un ejemplo de ello. Luego se presentaron las siguientes preguntas:

<b>Impacto</b> <b>Indíquenos ¿Qué cambio positivo o negativo se puede generar con el proyecto?</b> <small>Escriba su respuesta</small>		<b>¿Qué calificación le da al impacto?</b> <small>Seleccione una de las opciones</small>	<input type="radio"/> Positivo <input type="radio"/> Negativo
<small>NOTA: Teniendo en cuenta la presentación indicada anteriormente, señale una o varias de las opciones.</small>			
<b>¿En qué fase del proyecto se puede presentar el impacto?</b> <small>Señale una o varias de las opciones</small>	<input type="checkbox"/> Preconstrucción <input type="checkbox"/> Construcción <input type="checkbox"/> Operación y mantenimiento <input type="checkbox"/> Desmantelamiento		
<b>¿El impacto se generaría sobre cuál de los siguientes medios?</b> <small>Seleccione una de las opciones</small>	<input type="checkbox"/> Abiótico (aire, agua, suelo y paisaje) <input type="checkbox"/> Biótico (plantas y animales) <input type="checkbox"/> Socioeconómico (las personas y su relacionamiento con el entorno)		
<b>Medida de manejo</b> <b>¿Cuál es su propuesta para manejar el impacto mencionado?</b> <small>Escriba su respuesta</small>			
<small>Dar clic en el símbolo (+) que aparece a continuación, para agregar más impactos.</small>			
<input type="button" value="+"/>			

**Figura 2-29. Formato ficha virtual plataforma Kobo Toolbox.**

Fuente: SAG, 2023

- **Comentarios:** se contó con un espacio para consignar los comentarios que los participantes consideraron pertinentes.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

También se contó con un formato de ficha para la caracterización de predios, este instrumento permitió el levantamiento de información relacionada con la ubicación del predio, el área o extensión, forma de tenencia del predio, vías de acceso, habitantes, acceso a servicios, sistemas de drenaje, sistemas de riego, entre otra información, la cual se detalla en el ANEXO\_2\_7\_FICHA\_CHARACTERIZACION\_PREDIOS.

- Fase poscampo

En la fase pos-campo se ejecutaron los trabajos de procesamiento de información secundaria, validación y complementación cartográfica y geodatabase, así como la elaboración de documentos del EIA en el marco de los términos de referencia y demás lineamientos expuestos anteriormente.

Se partió de la información secundaria recopilada y de la información primaria recabada en campo, para hacer una validación (espacial) del área de influencia del proyecto, que permitió caracterizar y abordar las diferentes relaciones de los posibles impactos con los elementos de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.

Asimismo, se realizó un análisis general de áreas potencialmente vulnerables y/o de sensibilidad, teniendo en cuenta la localización del proyecto. Tal análisis tuvo en cuenta el cruce de variables abióticas, bióticas y socioeconómicas (espaciales, culturales, organizativas, etc.).

Se identificaron, describieron y valoraron cualitativa y cuantitativamente los impactos generados por el proyecto, especializándolos según las actividades de construcción y operación. Además, se diseñaron estrategias para el manejo (prevención, control, mitigación y compensación) y seguimiento de los impactos identificados.

El material resultante de las actividades antes relacionadas se clasificó de acuerdo con la unidad territorial y al componente del medio socioeconómico al que pertenece, además mediante la triangulación de información y la complementariedad de las técnicas se llevó a cabo una labor de contraste e interpretación de los datos a integrar en el documento final.

Durante la sistematización y análisis de la información, se dieron espacios de trabajo entre los profesionales de los medios abiótico, biótico y socioeconómico con el fin de lograr una comprensión integral de las relaciones funcionales de los habitantes con su territorio. Adicional a esto, se construyeron memorias de cálculo con la tabulación de los datos y el ingreso de estos en matrices de Excel dependiendo de la información recopilada y las variables a interpretar de acuerdo con los TdR-17. Posteriormente se describieron y presentaron los datos mediante la construcción de textos, tablas, gráficos y figuras.

En relación con la incertidumbre y vacíos frente a la información recolectada y la aplicación de los diferentes instrumentos, es importante decir que, como sucede en la aplicación de herramientas de carácter cualitativo y cuantitativo, fue inevitable que durante el trabajo de campo surgieran imprevistos, en cuanto a la facilidad o dificultad de acceso a ciertos datos y grupos de interés, por ejemplo, no fue posible acceder, en todos los casos, a la información del grupo de interés propietarios.

Por su parte, para las veredas del área de influencia del proyecto, vereda Cauca (municipio de Jericó) y vereda Puente Iglesias (municipio de Fredonia), se encuentran subregistros de

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

la población, ya que ambos territorios están conformados por parcelaciones y grandes haciendas que tienen una población flotante o dinámica y otra fija, y no se cuenta con fuentes de información que registren los datos.

Con relación al número total de viviendas en la actualidad, para las dos (2) veredas del área de influencia del proyecto mencionadas, se tiene un subregistro, ya que el Sisbén no es un censo, y por tanto, no todas las familias y viviendas están registradas en el mismo.

Adicionalmente, como se indicó antes, la información de carácter institucional disponible en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Fredonia adoptado por el Decreto 341 de 2000, se encuentra desactualizada, la manera en que se abordó este vacío, consistió en que la información fue validada con el levantamiento y análisis de información primaria.

### 2.3.3.5 Paisaje

El paisaje visual se define como la expresión visual y espacial de un medio y se concentra en el análisis de los componentes físicos que permiten definirlo y valorarlo<sup>204</sup>. Según el tratado “Convenio Europeo del Paisaje”, el paisaje es definido como *“una porción del territorio, tal y como es percibida por su población, siendo su aspecto el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y humanos”*<sup>205</sup>.

La caracterización del paisaje se desarrolló conforme a los Términos de referencia TdR-17 para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica de 2018 y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018.

#### Unidades de paisaje

Teniendo en cuenta la información de las unidades geomorfológicas y las coberturas de la tierra, se definieron las unidades de paisaje para el área de influencia, mediante el cruce de los Feature Class mencionadas, obteniendo así áreas homogéneas del territorio que son perceptiblemente diferenciadas en el terreno.

#### Percepción visual del paisaje

##### 2.3.3.5.1.1 Análisis de visibilidad y escala de paisaje

El análisis de visibilidad se realizó a partir del establecimiento de puntos de control (observadores) dentro del área de influencia de paisaje. A partir de dichos puntos se generaron cuencas visuales, las cuales se definen como las zonas que son visibles desde un punto<sup>206</sup>, y se entienden como la proporción del territorio que puede ser observada desde determinado sitio o el entorno visual de un punto<sup>207</sup>; para este cálculo se utilizó la

<sup>204</sup> Muñoz-Pedreras, Andrés. La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. Revista chilena de historia natural. 2004, vol.77, 139-156.

<sup>205</sup> CONSEJO DE EUROPA, 2000. Convenio Europeo del Paisaje. Florencia.

<sup>206</sup> Aguiló, A. Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje. Informes de la Construcción, 34 (349). 1983. Pp 67-70.

<sup>207</sup> Tevar, G. La Cuenca visual en el análisis del paisaje. Serie Geográfico, Vol 6. 1996. Pp 99-113.

herramienta Viewshed del software ArcGIS 10.8, donde se obtuvo la intervisibilidad con las áreas visibles y no visibles.

Dentro de los estudios de paisaje es importante considerar las limitaciones que presentan los territorios para ser analizados desde el entorno visual, por eso, la definición de los sitios de visibilidad o puntos de control contemplan aquellas zonas que permiten el ingreso o que son de uso frecuente por la comunidad, visitantes y/o turistas, por tal motivo se utilizan principalmente lugares ubicados en vías primarias, vías secundarias, además de miradores o sitios de interés del paisaje. En total, se establecieron 56 puntos de sitios de visibilidad del paisaje para el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.

Por otro lado, la escala visual se entiende como la clasificación de la distancia sobre la cual se precisan las áreas visibles desde cada uno de los puntos de visibilidad. Teniendo en cuenta lo anterior, la visibilidad el área de influencia fue clasificada siguiendo las categorías propuestas en la Tabla 2-86.

**Tabla 2-86. Clasificación propuesta de escala visual.**

Escala visual	Observación
Inmediata	Si el área visible de inmediata al punto de visibilización (Entre 0 y 50 m)
Primer plano	Área visible en una distancia próxima al punto de visibilización entre 50 y 200 m
Plano intermedio	Área visible en una distancia próxima al punto de visibilización entre 200 y 800 m
Plano lejano	Área visible en una distancia próxima al punto de visibilización superior a 800 m

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

#### 2.3.3.5.1.2 Calidad visual

Para cada unidad de paisaje definida en el área de influencia, se evaluó la calidad visual a partir de la clasificación en calidad alta, media y baja de los atributos o rasgos biofísicos que describen el paisaje, correspondientes a: geoforma (basado en clasificación de pendientes) y coberturas de la tierra. Teniendo en cuenta la suma de los valores obtenidos de los Feature Class de las dos informaciones cartográficas mencionadas anteriormente, se determinó la calidad visual.

La calidad paisajística se refiere al análisis subjetivo de los componentes, elementos o atributos que permiten calificar de manera cualitativa el paisaje dentro de lo que significa para el lector la belleza del territorio.

Para la valoración de dichos atributos, se realizó una modificación al método indirecto propuesto por Bureau of Land Management (BLM) en el año 1980 y mencionado por Aguiló et al<sup>208</sup>. Es importante mencionar que la modificación al método de BLM consistió en utilizar dos (2) de las siete (7) variables mencionadas en dicho método puesto que, para este estudio ambiental se consideró que los atributos correspondientes a agua, color, fondo

<sup>208</sup> Aguiló, M., ARAMBURU, MP., BLANCO, A., ET AL. 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y metodología. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. p. 809.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

escénico, la rareza y la acción del hombre ya se encuentran valorados dentro de las coberturas de la tierra, puesto que para la determinación de la calidad visual se tuvo en cuenta tanto el estado de desarrollo de la vegetación como textura, colores e intervención humana y otros rasgos excepcionales o singulares de las áreas; por lo que sólo se utilizaron los atributos de morfología y coberturas de la tierra.

En la Tabla 2-87., se presentan las calificaciones utilizadas para la valoración de los atributos de la calidad visual en la zona de estudio.

**Tabla 2-87. Valoración de los atributos para la calidad visual.**

Atributo	Observaciones	Clasificación de la calidad		
		Alta	Media	Baja
Morfología	<b>Criterio</b>	Relieve montañoso, marcado y prominente, rasgos excepcionales.	Relieve variado en tamaño y forma.	Colinas suaves, con pocos o sin detalles singulares.
	<b>Descripción</b>	Pendientes mayores a 25% (Moderada, Fuertemente escarpada, ligeramente escarpada)	Pendientes del terreno entre 12 y 25% (Fuertemente inclinada)	Pendientes del terreno inferior a 12% (Moderadamente inclinada, ligeramente plana, plana)
	<b>Puntuación</b>	5	3	1
Cobertura vegetal	<b>Criterio</b>	Variedad en la vegetación en color, tamaño, textura. Incluye los ríos	Variedad en la vegetación en uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad en la cobertura terrestre
	<b>Descripción</b>	Grupo de los bosques y áreas seminaturales exceptuando las áreas abiertas, sin o con poca vegetación. Se incluyen además los ríos	Territorios agrícolas y áreas abiertas sin o con poca vegetación del grupo de los bosques y áreas seminaturales	Territorios artificializados y áreas abiertas sin o con poca vegetación
	<b>Puntuación</b>	5	3	1

*Fuente: Adaptado de Bureau of Land Management (BLM, 1980)*

Los rangos tenidos en cuenta para calificar la calidad visual de la zona de interés se relacionan en la Tabla 2-88. Calificación de la calidad visual del área de influencia.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

**Tabla 2-88. Calificación de la calidad visual del área de influencia.**

Calificación Calidad Visual	Puntuación	Descripción
Alta	≥8	Paisajes de alta heterogeneidad, en donde uno o más de sus atributos visuales resalta por su singularidad o excepcionalidad, como por ejemplo un bosque, río, etc.
Media	Entre 5 y 7	Paisajes heterogéneos cuyos atributos visuales son considerados como comunes o recurrentes.
Baja	≤5	Paisajes poco heterogéneos que contienen muy poca variedad de atributos naturales o artificiales.

*Fuente: Adaptado de Bureau of Land Management (BLM), 1980*

#### 2.3.3.5.1.3 Fragilidad visual

Para evaluar la fragilidad visual se utilizó una adaptación a la metodología planteada por Aguiló *et al*<sup>209</sup> en la cual se vincularon varios atributos del territorio calificados en términos de capacidad de absorción del impacto; para el área de influencia y cada unidad de paisaje se aplicaron los correspondientes a: pendientes, coberturas de la tierra y accesibilidad visual (visibilidad). Finalmente, la fragilidad del territorio corresponde al promedio de las tres (3) variables (ver Tabla 2-89.).

**Tabla 2-89. Aspectos para evaluar la fragilidad visual.**

Aspecto	Fragilidad	Rango	Observación
Pendiente	Alto	3	Pendientes mayores a 25%.
	Medio	2	Pendientes entre 12-25%.
	Bajo	1	Pendientes inferiores a 12%.
Vegetación	Alto	3	Ausencia de vegetación natural de tipo arbustiva o arbórea.
	Medio	2	Cubierta vegetal dispersa y de tamaño medio.
	Bajo	1	Formaciones vegetales altas.
Visibilidad	Alto	3	Unidades de paisaje visibles por lo menos en el 50% de su área.
	Medio	2	Unidades de paisaje visibles entre el 20 y el 50% de su área.
	Bajo	1	Unidades de paisaje visibles no visibles o visibles en menos del 20% de su área.

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

#### 2.3.3.5.1.4 Elementos discordantes, tamaño de discordancia y correspondencia cromática

Los elementos discordantes corresponden a cualquier tipo de elemento que altera la armonía de los atributos naturales o típicos del paisaje visual en cada unidad de paisaje y estos pueden ser vías, infraestructura fuera de una urbe, construcciones civiles, líneas

<sup>209</sup> Ibid.,

eléctricas, subestaciones, e incluso coberturas de la tierra tales como zonas quemadas, áreas desnudas o degradadas, entre otros. También se les conoce como elementos que perturban el paisaje, y pueden llamar la atención del espectador ante la diferencia en relación con los elementos que le rodean.

La identificación de los elementos discordantes presentes en el área de influencia de paisaje se realizó de acuerdo con la información de la cartografía base y las coberturas de la tierra; los cuales se clasificaron entre las categorías alta, media, baja o nula dependiendo del número de elementos discordantes en cada unidad de paisaje (ver Tabla 2-90).

Por otra parte, se definió el tamaño de la discordancia para cada unidad de paisaje a partir de los valores propuestos en la Tabla 2-90 y teniendo en cuenta el porcentaje de área que ocupan los elementos discordantes en dicha unidad.

**Tabla 2-90. Clasificación de elementos discordantes y tamaño de la discordancia.**

Discordancia	Número de elementos discordantes	Tamaño de la discordancia
Alta	Más de seis elementos discordantes en la unidad de paisaje	Los elementos discordantes ocupan más del 30% del área de la unidad de paisaje
Media	Entre cuatro y seis elementos discordantes en la unidad de paisaje	Los elementos discordantes ocupan entre el 15 y 30% del área de la unidad de paisaje
Baja	Entre uno y tres elementos discordantes en la unidad de paisaje	Los elementos discordantes ocupan entre el 0 y 15% del área de la unidad de paisaje
Nula	Sin presencia de elementos discordantes	Sin presencia de elementos discordantes

*Fuente: SAG, 2024*

Adicionalmente, se valoró la correspondencia cromática de las discordancias encontradas, la cual se define como la incidencia de la discordancia respecto al color de las características y atributos propios del paisaje, y se valoró en relación con las unidades de paisaje. En general, a mayor correspondencia cromática menor incidencia sobre el paisaje<sup>210</sup>. En la Tabla 2-91, se presenta la clasificación de la correspondencia cromática de los elementos discordantes.

**Tabla 2-91. Clasificación de la correspondencia cromática.**

Correspondencia cromática	Descripción de la correspondencia
Alta	El o los elementos discordantes presenta una alta correspondencia cromática con el carácter del paisaje. Los elementos discordantes están en áreas donde la calidad visual es baja.
Media	Presenta una moderada correspondencia cromática o es poco visible en el paisaje.

<sup>210</sup> ANLA, 2016. Modelo de datos geográficos – ANLA. Resolución 2182 de 2016.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Correspondencia cromática	Descripción de la correspondencia
	Los elementos discordantes están en áreas donde la calidad visual es media.
Baja	Existe un contraste marcado y diferenciado entre los elementos discordantes y el color natural del paisaje. Los elementos discordantes están en áreas donde la calidad visual es alta.
Nula	No se identifica ningún tipo de discordancia por lo tanto la correspondencia cromática es nula

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.3.5.1.5 Integridad escénica

La integridad escénica se realizó a partir de la evaluación del grado de conservación de las coberturas de la tierra de cada unidad de paisaje, identificando aquellas que se encuentran visualmente más intactas y asignándoles una calificación superior, para este caso a las coberturas correspondientes a Bosques, Áreas húmedas continentales y Aguas continentales. Las áreas que tienen un grado de intervención medio como las Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y las Áreas abiertas, sin o con poca vegetación, se categorizaron con integridad escénica moderada, mientras que los Pastos y los Cultivos permanentes presentan un valor de integridad escénica “bajo” y por último, las zonas más alteradas, con mayor cantidad de elementos discordantes, se calificaron con la categoría de integridad escénica “muy bajo”, en esta categoría se encuentran las coberturas Zonas urbanizadas y las Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación. En la Tabla 2-92 se relacionan las categorías definidas y su descripción.

**Tabla 2-92. Clasificación de la integridad escénica.**

Integridad escénica	Descripción
Muy alta	Presenta una integridad escénica muy alta ya que las coberturas se encuentran inalteradas. Es difícil encontrar coberturas con estas características en el paisaje, ya que correspondería a bosques primarios muy escasos en la actualidad.
Alta	Presenta una alta integridad escénica ya que las coberturas se encuentran casi inalteradas.
Moderada	Presenta una integridad escénica moderada ya que las coberturas se encuentran levemente alteradas.
Baja	Presenta una baja integridad escénica ya que las coberturas se encuentran moderadamente alteradas.
Muy baja	Presenta una integridad escénica muy baja ya que las coberturas se encuentran muy alteradas.

*Fuente: SAG, 2024*

- Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico

Con base en la interposición del proyecto sobre la visibilidad, escala visual, calidad visual, fragilidad visual, elementos discordantes, tamaño de discordancia, correspondencia cromática e integridad escénica del paisaje, se definieron las unidades de paisaje que

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

tendrían modificaciones por la intervención a realizar en el marco del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto.

- Sitios de interés paisajístico

La información de lugares de interés por sus rasgos o características visuales tales como zonas boscosas, presencia de fauna silvestre, cascadas, balnearios, entre otros, se consultó en los documentos municipales y de las autoridades ambientales que rigen en la zona de interés. Esta información se complementó por medio de la aplicación de encuestas de percepción visual del paisaje a los habitantes de las unidades territoriales pertenecientes al área de influencia del medio socioeconómico.

- Percepción de las comunidades

Para el área de influencia, se realizó una encuesta de percepción del paisaje basada en los elementos del paisaje y el gusto por el paisaje visual. A partir de los resultados obtenidos se precisó información sobre los elementos más característicos del paisaje, así como el gusto de la comunidad por el paisaje de la región, e información sobre los atributos que se consideran como importantes a conservar. Es importante resaltar que dicha encuesta fue realizada por los profesionales que acompañaron los procesos de participación y socialización con las comunidades que hacen parte del área de influencia del medio socioeconómico, haciendo uso de la plataforma KoboCollect v2022.1.2.

- Programas, proyectos, planes y similares

Los proyectos, programas y similares que involucran el uso, gestión y/o protección del paisaje se identificaron por medio de la información recolectada en las encuestas de percepción y de la búsqueda de información secundaria de los municipios Fredonia y Jericó que se localiza en el área proyecto.

Entre la información secundaria revisada se incluyen instrumentos de ordenamiento territorial, planes de gobierno, documentos técnicos de la autoridad ambiental, entre otros, se realizó la búsqueda de planes, programas, proyectos, actividades, entre otros que involucren el paisaje en relación con su protección, desarrollo turístico, gestión, y/o manejo a nivel local y/o regional.

### **2.3.3.6 Servicios ecosistémicos**

Entre las definiciones que se encuentran sobre este tema, Fisher B, Turner R & Morling P<sup>211</sup> indican que los servicios ecosistémicos (SSEE) son aspectos de los ecosistemas utilizados activa o pasivamente para producir bienestar humano y que también pueden entenderse como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, como resultado de la interacción de funciones ecosistémicas (FFEE). De otro lado, de acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales<sup>212</sup>, los SSEE deben entenderse como el vínculo entre las funciones de los ecosistemas y la

<sup>211</sup> Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>

<sup>212</sup> AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES -ANLA-, 2018. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

posibilidad que tienen las personas de beneficiarse de éstos. Dos definiciones que centran su acento en diferentes aspectos: La primera, en los aspectos del ecosistema, y la segunda, en el vínculo entre ecosistema y sociedad.

De la primera definición, la de Fisher et al 2009, cabe aclarar que las FFEE son el fruto de los procesos de: flujo, almacenamiento y transformación de materia, energía e información, que se encuentra en los ecosistemas. Las FFEE también son conocidas como SSEE de Soporte.

Respecto a la clasificación de SSEE, en la normatividad colombiana se utiliza la definida por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio<sup>213</sup>, MEA por sus siglas en inglés, en el año 2005, la cual contempla cuatro (4) tipos de servicios ecosistémicos a saber:

1. SSEE de Provisión: Son productos obtenidos de los ecosistemas, se incluyen: comida, fibras naturales, combustibles, madera, recursos genéticos, medicinas naturales y farmacéuticas, recursos ornamentales, agua limpia, entre otros.
2. SSEE de Regulación: Son los beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas, en estos se incluyen: regulación de la calidad del aire, regulación climática, regulación de agua, control de la erosión, purificación del agua y tratamiento de desechos, control biológico, polinización, entre otros.
3. SSEE Culturales: Son aquellos beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas como el enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación y experiencias estéticas, dentro de esta categoría se incluyen: Diversidad cultural, valores espirituales y religiosos, sistemas de conocimiento culturales, relaciones sociales, herencia cultural, recreación, ecoturismo, entre otros.
4. SSEE de Soporte: Estos servicios son necesarios para la producción de todos los otros servicios ecosistémicos.

La identificación, estimación y análisis de los servicios ecosistémicos (SSEE) se realizó bajo los lineamientos que establecen los términos de referencia TdR 17 (2018) y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018. Adicional a esto, se tomó como referencia la clasificación *Towards a Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES V5.1). Estos lineamientos llevaron al diligenciamiento de la Tabla resumen que se presenta a continuación en la Tabla 2-93. Se aclara que, debido a la metodología usada para la identificación y evaluación de servicios ecosistémicos, la cual tiene como base lo validado en campo con comunidades, no se facilita una cuantificación numérica del estado actual de los servicios ecosistémicos sino, que se mide a través de la percepción de las personas y se describe de forma cualitativa.

<sup>213</sup> La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio es una estimación de los impactos causados por las actividades de la humanidad en el ambiente. Esta evaluación es auspiciada por Las Naciones Unidas. Inició en el año 2001 y su primer informe fue realizado en el año 2005.

**Tabla 2-93. Análisis de estado y tendencia de los SSEE.**

Categoría de servicio ecosistémico	Servicio ecosistémico*	Tendencia futura del SSEE	Usuarios del SSEE**	Impactos del proyecto sobre el SSEE ***	Dependencia de las comunidades al SSEE	Dependencia del proyecto al SSEE
Provisión	Plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales					
	Animales criados con fines nutricionales					
	Plantas silvestres, no cultivadas, usadas como fuente de energía					
	Plantas silvestres, no cultivadas, usadas como fuente de energía					
	Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento					
Regulación	Ciclo hidrológico y regulación del flujo de agua					
	Dilución por aguas dulces					
	Control de erosión					
	Control de enfermedades					
	Dilución por la atmósfera					
Culturales	Características de los elementos de sistemas bióticos que tienen valor de existencia					
	Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias estéticas					

\* Los SSEE que efectivamente generan beneficios o son utilizados por las personas o grupos sociales identificados en el EIA. En tal sentido, la lista de SSEE que se presenta en la tabla es opcional y el análisis se realizará exclusivamente en relación con los SSEE presentes en el área de influencia del proyecto.

\*\* La identificación y cuantificación de los usuarios de los SSEE se debe realizar a partir de la caracterización de la línea base socioeconómica del proyecto.

\*\*\* Se sigue la propuesta de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, donde la valoración de los impactos debe corresponder a alguna de las categorías de calificación de los impactos establecidas en el capítulo 7 (evaluación ambiental).

Fuente: TdR 17- ANLA, 2018

La Tabla 2-93 hace evidente que la identificación, cuantificación y análisis de los SSEE provistos por los ecosistemas del área de influencia, deben vincular los resultados de la caracterización ambiental, zonificación ambiental, demanda uso y aprovechamiento de recursos, evaluación ambiental y planes y programas de manejo ambiental que fueron formulados en el presente estudio. En ese sentido, la metodología que se utilizó para identificar los SSEE y analizar las dependencias, tendencia e impactos del proyecto sobre los SSEE se llevó a cabo en cuatro (4) pasos:

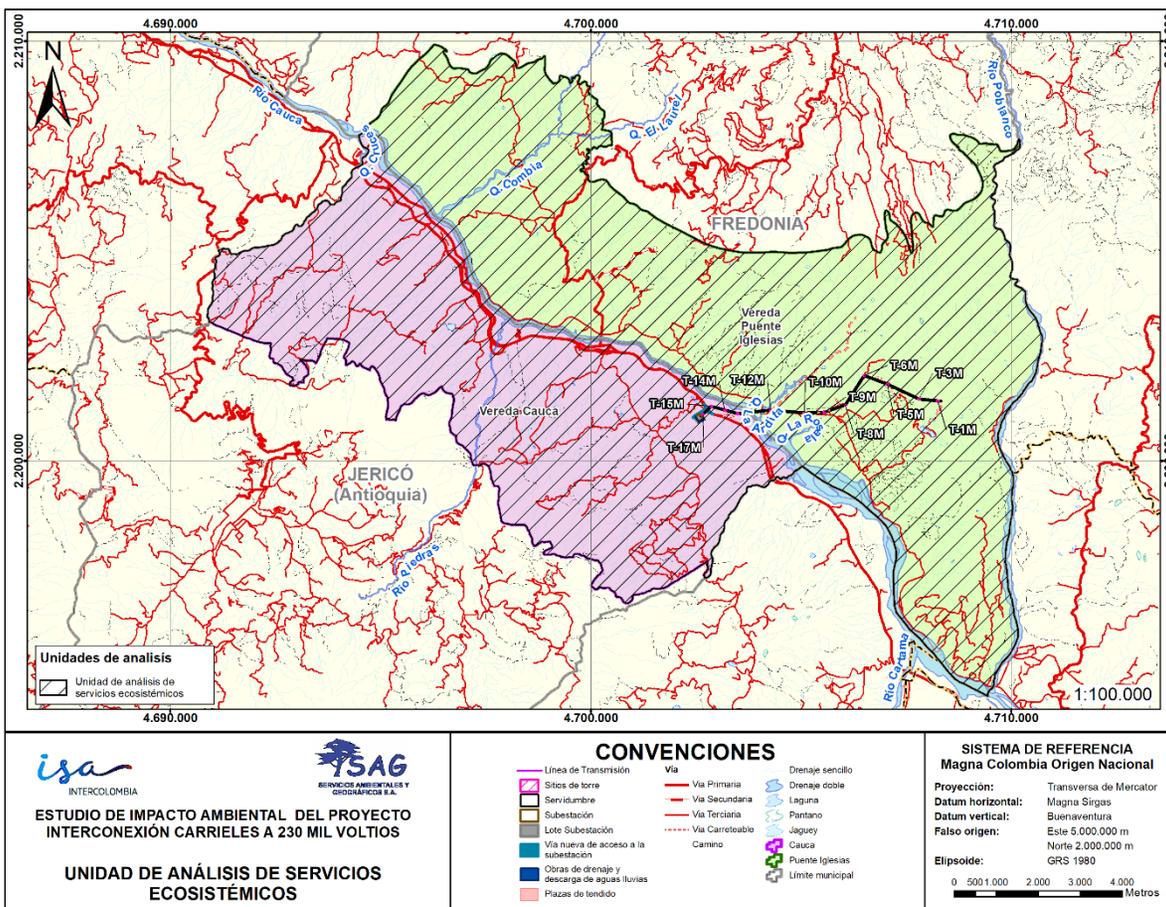
1. Primero se definió la unidad de análisis.
2. Seguido de la definición, se realizó una identificación preliminar y descripción de SSEE a partir de las coberturas de la tierra y la clasificación CICES versión 5.1.
3. Se realizó una identificación complementaria de SSEE a partir de encuestas de percepción de Servicios Ecosistémicos.

4. Finalmente se determinaron: usuarios, dependencias, tendencia e impactos, a partir de la demanda de recursos, evaluación ambiental y planes de manejo.

A continuación, se describen de forma detallada cada uno de los pasos mencionados.

#### 2.3.3.6.1 Definición de la unidad de análisis

Una vez identificados y descritos los ecosistemas naturales y transformados del proyecto, y teniendo presente las dinámicas sociales y el alcance del EIA, fue posible establecer la unidad de análisis correspondiente que coincide con la delimitación del área de influencia socioeconómica que coincide con el área de influencia del proyecto (ver [Figura 2-30](#)). Sobre esta unidad de análisis se identificaron, cuantificaron y analizaron los SSEE.



**Figura 2-30. Unidad de análisis en la que se identificaron, cualificaron y analizaron los SSEE.**

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

#### 2.3.3.6.2 Identificación preliminar y descripción de SSEE a partir de las coberturas de la tierra y la clasificación CICES versión 5.1

La clasificación utilizada para la identificación y descripción general de los SSEE se realizó a partir de la catalogación CICES V.5.1., y las coberturas de la tierra bajo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. La catalogación CICES tiene ejemplos de bienes y beneficios ambientales relacionados con SSEE y su equivalente en la clasificación de los ecosistemas del milenio, lo que permitió encontrar aquellos SSEE relacionados tanto en los TdR-17, como en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, ambos del año 2018.

#### 2.3.3.6.3 Identificación complementaria de SSEE a partir de la caracterización ambiental

Con el fin de acotar la identificación inicial a partir de las coberturas, se extrajo información relevante de las caracterizaciones abiótica, biótica y socioeconómica con miras a establecer el relacionamiento que pudieran tener las comunidades, con los diferentes elementos de los ecosistemas, como por ejemplo especies de flora o fauna utilizadas para actividades económicas, actividades culturales o tradicionales, actividades de conservación, entre otras; así como el acceso que pudieran evidenciarse a diferentes tipos de recursos.

#### 2.3.3.6.4 Identificación complementaria a partir de actividades en campo

En cuanto a la validación de los servicios ecosistémicos identificados preliminarmente y, como complemento a la identificación realizada a partir de las caracterizaciones de los diferentes medios, se hicieron actividades en campo que sirvieron de apoyo, como fichas veredales, fichas prediales y recorridos en campo para contextualización ambiental de la unidad de análisis, lo anterior se realizó en los meses de noviembre de 2022 y abril, mayo y agosto de 2023 en las veredas Cauca y Puente Iglesias.

Con la información recolectada, respecto al uso de los recursos naturales y aspectos económicos, se verificaron e identificaron directamente los bienes y/o beneficios que los ecosistemas ofrecen a las personas, adicionalmente se hicieron preguntas sobre la importancia y frecuencia que tienen los bienes y/o beneficios para la comunidad, de acuerdo con las dinámicas de relacionamiento entre el territorio y sus actores.

A partir de los resultados obtenidos, se redujo la lista inicial de SSEE potenciales teniendo presente que generalmente las comunidades identifican de forma frecuente los SSEE provisión relacionados con alimentación y agua, y con menos frecuencia los SSEE de regulación y soporte, asociados al funcionamiento del ecosistema.

#### 2.3.3.6.5 Priorización de los servicios ecosistémicos

Con el fin de obtener los servicios ecosistémicos que se dan en el territorio, que pueden ser afectados por el proyecto, que son relevantes para el desarrollo de éste o que pueden ser necesarios para la cotidianidad de la comunidad, se utilizó la metodología WRI (World Resource Institute), en el listado de SSEE resultante, luego de la identificación preliminar de SSEE por cobertura, lo contrastado a partir de las caracterizaciones de los diferentes medios y lo finalmente validado en las actividades en campo. Posterior a la aplicación de dicha metodología, se obtuvo la lista final de SSEE sobre los cuales se realizó la



3. ¿Los beneficiarios tienen alternativas viables a este servicio ecosistémico?

De Paso 1			Sub-paso 2.1: ¿Podría el proyecto afectar la capacidad de otros para beneficiarse de este servicio de ecosistema?		Sub-paso 2.2: ¿Es este servicio ecosistémico importante para el bienestar de los beneficiarios?		Sub-paso 2.3: ¿Los beneficiarios tienen alternativas viables a este servicio de ecosistema?		Servicios ecosistémicos prioritarios
Servicios Ecosistémicos relevantes	Beneficiarios potencialmente afectados	Beneficios potencialmente afectados	S Si N No (Pase a la siguiente línea) ? No se sabe	Comentarios o reportes de información	S Si N No (Pase a la siguiente línea) ? Desconocido	Comentarios o reportes de información	S Si N No ? Desconocido	Comentarios o reportes de información	1 Servicio ecosistémico prioritario 0 Servicio ecosistémico no prioritario
<b>Cobertura evaluada:</b>									
Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación o el disfrute a través de interacciones activas o pasivas			No		Si			No	0
<b>Cobertura impactada:</b>									
Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento (NO incluye material genético)			No		Si			No	0
Plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluyendo hongos y algas)			Si		Si			No	1
Procesos de desgarro y su efecto en la calidad del suelo			No		Si			No	0

**Figura 2-32. Segunda matriz WRI para priorización de SSEE relacionados con la comunidad.**

Fuente: SAG, 2024

2.3.3.6.6 Análisis de los servicios ecosistémicos

a) Determinación de usuarios y dependencia de la comunidad

La determinación de usuarios puntuales de los SSEE se extrajo de la caracterización socioeconómica y, para los servicios en donde no se percibirá alguna restricción o división de uso, se toman los usuarios como el total de la población de las unidades territoriales que hacen parte de la unidad de análisis.

Por otro lado, la dependencia de las comunidades se clasifica como es solicitado en los términos de referencia TdR-17 de 2018 y la Metodología General para la Presentación y Elaboración de Estudios Ambientales (ver Tabla 2-94).

**Tabla 2-94. Nivel de dependencia de la comunidad con los SSEE.**

Calificación		Descripción
<b>Dependencia Alta</b>	A	Cuando los medios de subsistencia de la comunidad dependen directamente del Servicio Ecosistémico.
<b>Dependencia Media</b>	M	Cuando la comunidad se beneficia del Servicio Ecosistémico pero su subsistencia no depende directamente del mismo.
<b>Dependencia Baja</b>	B	Cuando la comunidad se beneficia del Servicio Ecosistémico pero su subsistencia no depende directa ni indirectamente del mismo; existen múltiples opciones para el aprovechamiento del servicio ecosistémico.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 2018

b) Tendencia del estado de los SSEE

La tendencia de los SSEE se determinó, para los SSEE a partir del análisis de la información recolectada en las actividades en campo y de la caracterización socioeconómica y físico-biótica; esto, a través de la percepción de las comunidades sobre los posibles escenarios o tendencias en el uso y disponibilidad futura de los recursos naturales previamente identificados. La tendencia del estado del servicio ecosistémico se clasificó como es

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

solicitado en los TdR y la Metodología General para la Presentación y Elaboración de Estudios Ambientales (ver Tabla 2-95). Por tanto, corresponde a la tendencia sin proyecto.

**Tabla 2-95. Tendencia del estado del SE.**

Calificación		Descripción
<b>Tendencia Creciente</b>	C	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico es ascendente.
<b>Tendencia Estable</b>	E	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico se mantiene en la magnitud registrada actualmente.
<b>Tendencia Decreciente</b>	D	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico es descendente.

*Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2018*

c) Dependencia del proyecto sobre los SSEE

En cuanto a la dependencia del proyecto de los SSEE, esta se cualifica a partir de la demanda de recursos y de la evaluación realizada en el ANEXO\_5\_5\_1\_CICES (del Capítulo 5 Caracterización del Área de Influencia – 5.5 Servicios Ecosistémicos), pestaña PASO 2\_1\_Proyecto y, a partir de esta información y el análisis realizado en un panel de expertos conformado por los profesionales de los diferentes medios se asignó la cualificación alta, media o baja, en concordancia con los TdR-17 (ver Tabla 2-96).

**Tabla 2-96. Nivel de dependencia del proyecto con los SSEE.**

Calificación		Descripción
<b>Dependencia Alta</b>	A	Las actividades que hacen parte integral y central del proyecto requieren directamente del servicio ecosistémico.
<b>Dependencia Media</b>	M	Algunas actividades secundarias asociadas al proyecto dependen directamente del servicio ecosistémico, pero podría ser reemplazado por un insumo alternativo.
<b>Dependencia Baja</b>	B	Las actividades principales o secundarias del proyecto no tienen dependencia directa del servicio ecosistémico.

*Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2018*

d) Relación SSEE e Impactos ambientales

Para la evaluación de impactos sobre SSEE, se hizo el cruce, a través de una matriz de interacciones, entre los impactos ambientales identificados para el proyecto, en el capítulo de evaluación ambiental y los servicios ecosistémicos priorizados mediante las matrices WRI, manteniendo la importancia asignada a los potenciales impactos del proyecto en la evaluación ambiental presentada en el Capítulo 8. Esta información se encuentra en la pestaña Eval\_Impacto\_SSEE del ANEXO\_5\_5\_1\_CICES (del Capítulo 5 Caracterización del Área de Influencia – 5.5 Servicios Ecosistémicos), cuando un mismo SSEE tiene relación con más de un impacto se mantiene la calificación de mayor severidad.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Finalmente, los SSEE fueron reportados en la geodatabase asociados a las coberturas de la tierra debido a que, para su identificación, las coberturas de la tierra son un insumo requerido y por tanto una variación en este insumo causaría un cambio en todos los SSEE identificados.

### 2.3.4 Zonificación ambiental

La zonificación ambiental se desarrolló con base en el criterio de sensibilidad ambiental en el área de influencia en su condición sin proyecto, teniendo en cuenta las cualidades del medio que expresan su susceptibilidad ante fenómenos naturales y antrópicos, considerando aspectos de los componentes del ambiente que podrían ser objeto de una posible afectación, a partir de los resultados de la caracterización de línea base para los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, la normatividad vigente y las siguientes unidades de análisis:

- Áreas de especial importancia ecológica o de Especial Interés Ambiental (AEIA) en el área de influencia como las áreas de importancia para cría, reproducción, alimentación y anidación de fauna terrestre; complejidad de las coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el IDEAM en el año 2010<sup>214</sup>, y áreas de importancia ambiental.
- Áreas de importancia ambiental y con reglamentación especial definida en los instrumentos de ordenamiento y planificación, tales como el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Fredonia adoptado por el Decreto 341 de 2000, Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Jericó adoptado por el Acuerdo 01 de 2023, la Reserva Natural de Recursos Naturales Zona Ribereña del Río Cauca declarada por el Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) mediante Acuerdo 017 del 24 de septiembre de 1996, el POMCA Directos al río Cauca – Río Amagá y Q. Sinafaná, adoptado mediante Resolución CORANTIOQUIA 040-RES1811-6715 del 2018, el Plan de Ordenamiento Forestal y el documento Asuntos, Determinantes Ambientales para el Ordenamiento Territorial de CORANTIOQUIA, los relictos de bosque seco tropical y rastrojo de vegetación sucesional identificados por el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” junto con la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA)<sup>215</sup>, las Áreas establecidas para la ejecución de compensaciones por procesos de licenciamiento o permisos, de acuerdo con las consultas oficiales realizadas en ANLA y CORANTIOQUIA y las Áreas con prioridades de conservación contempladas por Parques Nacionales Naturales.

<sup>214</sup> IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., 2010. 72p.

<sup>215</sup> INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT & CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA – CORANTIOQUIA. 2014. Fortalecimiento al conocimiento, conservación y uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del Bosque Seco Tropical en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. Bogotá.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Áreas degradadas en recuperación ambiental tales como áreas con desequilibrios como aquellas que presentan conflicto por uso del suelo.
- Áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa identificadas en la zonificación geotécnica a partir de los criterios pendiente, unidades litológicas, unidades geomorfológicas, cobertura de la tierra, unidades hidrogeológicas y distancia cuerpos de aguas naturales.
- **Áreas con retiros a cuerpos de agua y buffer a pozos profundos**
- Áreas de importancia social tales como áreas de interés patrimonial, tipo de infraestructura social, concentración de población, estructura de la propiedad, proyectos de desarrollo y organizaciones comunitarias.
- Fragilidad visual y calidad visual, considerando la afectación sobre el paisaje.

Dichas unidades de análisis fueron zonificadas en el área de influencia de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, así como en el área definida para la caracterización del paisaje como componente transversal a los tres (3) medios, y posteriormente articuladas para su análisis integral; de esta manera, se determina la sensibilidad ambiental del área de influencia del proyecto de Interconexión Carrieles a 230 mil voltios. [Los análisis cartográficos y utilización de ponderados se realizaron teniendo en consideración los estipulados en los TdR-17 de 2018 y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales del 2018.](#)

#### **2.3.4.1 Definición de categorías o grados de sensibilidad ambiental**

Para evaluar la sensibilidad ambiental de las áreas de influencia de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, así como del componente paisaje, una vez evaluada la oferta ambiental de las áreas de influencia para cada medio, se identificaron los elementos o atributos de las unidades de análisis para cada uno de los medios, que sean vulnerables ante cualquier intervención y se determinó para estos elementos su resiliencia, en términos de su capacidad de respuesta y de la posibilidad de volver a su estado inicial después de haber sido sometidos a cambios por la acción de agentes externos.

Para tal fin, se definieron cinco (5) categorías o grados de importancia para evaluar la sensibilidad ambiental: muy baja, baja, media, alta y muy alta; asignándole a cada una un valor de **0 a 4,5** respectivamente y representándolas gráficamente en las unidades de análisis con el código de color que se presenta en la Tabla 2-97, entendiéndose por atributos o elementos, las unidades definidas en los medios abiótico, biótico, socioeconómico y paisaje.

De esta manera se definieron las categorías o grados de sensibilidad ambiental, con base en los criterios descritos en la Tabla 2-97.

**Tabla 2-97. Rangos y categoría de sensibilidad.**

Categoría	Valor	Descripción
Muy Baja	0 ≥ 1,5	<p>Unidades de análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, que poseen una muy alta capacidad intrínseca de retornar a su estado original ante una intervención externa, es decir, su recuperación se dará por mecanismos naturales en el corto plazo.</p> <p>Así pues, los cambios asociados a la acción de agentes externos en el área de influencia no representan cambios en el atributo objeto de análisis.</p>
Baja	1,5 ≥ 2,5	<p>Los cambios debidos a la intervención de agentes externos son leves y el elemento puede responder a ellos sin necesidad de medidas específicas de manejo.</p>
Media	2,5 ≥ 3,5	<p>Corresponde a las unidades de análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, que poseen una moderada capacidad intrínseca de ser alterados o modificados en su estructura y/o funcionamiento por acciones o condiciones externas. Es decir, el elemento responde a la intervención con cambios que pueden ser mitigados, por ende, poseen una mediana sensibilidad ambiental.</p> <p>Por lo tanto, se consideran moderadamente tolerantes a la perturbación con capacidad de recuperación, la cual se da por mecanismos naturales en el mediano plazo, implementando acciones de</p>

Categoría	Valor	Descripción
		mitigación y/o en el largo plazo implementando medidas de prevención.
Alta	3,5 ≥ 4,5	<p>El atributo valorado presenta cambios en su funcionamiento o estado ante la acción de agentes externos.</p> <p>Incluye las unidades de análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, que presentan cambios moderados en su funcionamiento o estado ante una posible intervención representa una alta sensibilidad ambiental o alto grado de afectación.</p> <p>Se consideran áreas con baja capacidad de recuperación en el largo plazo. Una posible intervención puede realizarse, pero con la implementación de medidas de corrección.</p> <p>En esta categoría se incluyen las áreas y trazados de proyectos y/o actividades existentes que se encuentran operando o que cuentan con licencia ambiental para su ejecución futura; toda vez que son áreas donde se puede establecer una coexistencia entre proyectos y actividades.</p>
Muy Alta	Mayor de 4,5	<p>La respuesta del elemento o atributo a la intervención de agentes externos significa cambios substanciales en el funcionamiento del sistema.</p> <p>Corresponde a las unidades de análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, que poseen muy baja capacidad</p>

Categoría	Valor	Descripción
		<p>intrínseca de retornar a su estado original ante una intervención. Son muy susceptibles a ser alterados o modificados en su estructura y/o funcionamiento por acciones o condiciones externas, en síntesis, poseen una sensibilidad ambiental muy alta.</p> <p>Tienen muy baja capacidad de recuperación en el largo plazo. La recuperación de su estado original se podrá lograr mediante la implementación de acciones y/o medidas de manejo ambiental encaminadas a la mitigación, corrección, compensación y</p>

*Fuente: Zuluaga y Arboleda, 2005 ajustada por SAG, 2024*

#### **2.3.4.2 Ponderación y calificación de la sensibilidad ambiental de las unidades de análisis**

Con base en la Tabla 2-97 se asignó a cada una de las unidades de análisis definidas en los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el paisaje, la categoría de sensibilidad, por el grupo de expertos de cada medio y el componente paisaje, de acuerdo con los resultados de la caracterización ambiental y la legislación ambiental vigente, información con la que se elaboraron los mapas de cada unidad de análisis, haciendo el cruce temático y generando la zonificación ambiental intermedia respectiva y, finalmente, se realizó el cruce de los tres medios y el paisaje, cuyo resultado es el mapa de zonificación ambiental general del proyecto.

Se realizó la agrupación, ponderación y georreferenciación de los atributos o elementos definidos de las unidades de análisis con diferentes grados de sensibilidad ambiental definida para los medios abiótico, biótico y socioeconómico; mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG), específicamente del software ArcGIS versión 10.8 generando así los mapas de zonificación intermedios a escala 1:25.000.

Los mapas de zonificación intermedios, obtenidos del análisis por medio, se integraron con el uso del software ArcGIS versión 10.8 para obtener el mapa de zonificación ambiental final del área de influencia del proyecto a escala 1:25.000, donde se determinó el grado de sensibilidad de cada unidad de análisis comprendida al interior del área de influencia, considerando un ponderado para los medios abiótico, biótico, socioeconómico y paisaje, de

acuerdo con la siguiente ecuación y que podrá ser ajustado de acuerdo con las particularidades del área de influencia del proyecto en el EIA.

$$\text{Zonificación ambiental final} = 0,20 * Z_{MA} + 0,30 * Z_{MB} + 0,30 * Z_{MS} + 0,20 * Z_P$$

Dónde:

- $Z_{MA}$ : Zonificación ambiental medio *abiótico*
- $Z_{MB}$ : Zonificación ambiental medio *biótico*
- $Z_{MS}$ : Zonificación ambiental medio *socioeconómico*
- $Z_P$ : Zonificación ambiental del *paisaje*

Dicha ponderación final se justifica en que los medios biótico y socioeconómico tienen mayor sensibilidad a ser alterados bajo las actuales condiciones ambientales, debido a:

- La presencia de áreas de importancia ambiental, en el área de influencia se identificaron los relictos de bosque seco tropical, rastrojo de vegetación sucesional, la Reserva Natural de Recursos Naturales Zona Ribereña del Río Cauca declarada por el Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) mediante Acuerdo 017 del 24 de septiembre de 1996, las áreas zonificadas para rehabilitación del POMCA del río Amagá y las áreas destinadas para restauración ecológica del EOT del municipio de Jericó. los corredores de conectividad ecosistémica planteado en las metas del Plan de Gestión Ambiental Regional – PGAR 2020-2031 y en su plan de acción 2020 – 2023 donde se plantea el fortalecimiento de un esquema de conectividad ecosistémica regional. Además, el AIB del proyecto se presenta en áreas de compensación de los proyectos Pacífico 2 y Mina de Cobre Quebradona reportadas por Corantioquia.
- La capacidad organizacional que tienen las unidades territoriales, las expectativas frente a algunos proyectos de desarrollo y la presencia de áreas de interés patrimonial.

Operativamente, la integración de los mapas de zonificación intermedios se realizó utilizando la herramienta unión de arctoolbox de ArcGIS versión 10.8, uniendo los tres feature class de las zonificaciones por medio, posteriormente se creó un campo de tipo numérico para la Zonificación Ambiental, teniendo en cuenta la Tabla 2-97 se aplicó el ponderado definido y el resultado de la zonificación ambiental final se obtuvo con base en los rangos definidos en la Tabla 2-98.

**Tabla 2-98. Rangos de sensibilidad ambiental para la zonificación final.**

Categoría	Rango
Muy Alta	Mayor de 4,5
Alta	3,5 ≥ 4,5
Media	2,5 ≥ 3,5
Baja	1,5 ≥ 2,5
Muy Baja	0 ≥ 1,5

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

### **2.3.5 Demanda, uso, aprovechamiento o afectación de recursos naturales**

A partir de las especificaciones técnicas de diseño del proyecto, se relacionan los recursos naturales que serán utilizados, aprovechados o afectados durante las diferentes fases de este, indicando si requieren o no permisos, concesiones o autorizaciones.

#### **2.3.5.1 Aguas superficiales**

No se requiere concesión de aguas, dado que para su construcción y operación no será necesaria la captación agua directamente de fuentes hídricas superficiales.

Para la construcción y montaje del proyecto el agua requerida para la ejecución de las obras civiles se comprará a terceros que cuenten con las autorizaciones y permisos vigentes, incluyendo la respectiva concesión de aguas para uso industrial y será transportada hasta los frentes de obra.

El transporte del agua a los frentes de obra podrá ser realizado por medio de carro tanques. Aquellos sitios donde la accesibilidad no permita el paso de dichos vehículos, el transporte será mediante acarreo en semovientes teniendo en cuenta cargas, jornadas y condiciones adecuadas.

Respecto al agua para consumo humano, durante la construcción y operación será adquirida en contenedores tipo dispensador, en bolsa o en garrafón, a proveedores y establecimientos comerciales que cuenten con el respectivo registro sanitario INVIMA.

En fase de operación, para el abastecimiento de agua de la Subestación Carrieles a 230 mil voltios, se contará con un (1) tanque de almacenamiento, diseñado para un volumen acorde con el funcionamiento del sistema de abastecimiento, teniendo en cuenta que por lo menos permita 48 horas de suministro o cuatro (4) m<sup>3</sup>. Es de anotar que este tanque deberá ser totalmente impermeable, y los materiales de impermeabilización son los requeridos para tanques de almacenamiento de agua potable.

El abastecimiento será mediante uso de aguas lluvias, para tal fin el sistema estará constituido por los siguientes componentes:

- Captación. Está conformada por las cubiertas de cada una de las edificaciones del proyecto aledañas al sitio de almacenamiento.
- Recolección. Está conformado por una serie de canaletas ubicadas en los bordes inferiores del techo que se conecta a los bajantes.
- Interceptor. Este puede ser un tanque o parte de una tubería que tiene como objetivo recolectar las impurezas presentes en las cubiertas y evitar que este material ingrese al tanque de almacenamiento.
- Almacenamiento. Este último es en donde se almacenará temporalmente el agua para su posterior uso.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Este recurso podrá ser destinado a numerosos usos al interior o exterior del proyecto, diferentes al consumo humano.

El agua potable para consumo humano durante la construcción y operación será adquirida en contenedores tipo dispensador a proveedores y establecimientos comerciales que cuenten con el respectivo registro sanitario INVIMA.

### **2.3.5.2 Aguas subterráneas**

No se requiere concesión de aguas subterráneas, dado que para su construcción y operación no se captará agua directamente de fuentes hídricas subterráneas.

### **2.3.5.3 Vertimientos**

Para la ejecución del proyecto Interconexión Carriles a 230 mil voltios, no se requiere permiso de vertimientos, dado que no se realizarán vertimientos directos a fuentes hídricas superficiales o al suelo.

Durante construcción se contratará con un tercero autorizado para tratar, transportar y disponer las aguas residuales domésticas, el servicio de baños portátiles, de acuerdo con los frentes de trabajo y teniendo en cuenta lo dispuesto en la Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, o aquella norma que la modifique o sustituya, que establece una proporción de uno (1) por cada 15 trabajadores, separados por sexos, y dotados de los elementos necesarios para su servicio. Adicionalmente se considerarán los siguientes aspectos:

- Las baterías de baños portátiles se ubicarán en sitios aledaños a los frentes de trabajo.
- Para el uso de los baños se cumplirán con los procedimientos sanitarios recomendados por el proveedor.
- El proveedor del sistema de baños portátiles contará con los permisos ambientales vigentes aprobados por la Autoridad Ambiental para la gestión, transporte, tratamiento y disposición de los residuos provenientes de dichos sistemas.
- Una vez por semana se realizará el mantenimiento y evacuación de residuos en las baterías sanitarias, teniendo en cuenta que en caso de que una cuadrilla se desplace a otro sitio, la batería deberá quedar limpia para poder transportarla hacia el nuevo sitio.
- El Contratista solicitará mensualmente al proveedor los certificados de gestión y disposición final de los residuos líquidos domésticos generados en la obra.
- Adicionalmente, se realizarán capacitaciones dirigidas al personal del proyecto sobre el uso eficiente del agua, su utilización y cuidado, entre otros aspectos de interés general sobre el manejo integral de las aguas residuales.
- El lavado y mantenimiento de maquinaria y equipo se realizará en sitios autorizados para tal fin en los municipios del área de influencia, Jericó y Fredonia.

En fase de operación, se generarán aguas residuales domésticas en la subestación, provenientes del edificio de control y la caseta de vigilancia. Las aguas residuales

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

domésticas serán tratadas mediante el diseño de un sistema de tratamiento de aguas, el cual deberá ser diseñado con un porcentaje de retorno del 85% de la dotación establecida en el RAS-2017 (100 L/pers/día). Cumpliendo la normativa ambiental sobre vertimientos de aguas, Resolución 0631 de 2015, específicamente la columna 2 del artículo 8 sobre “aguas residuales domésticas (ARD), y de las aguas residuales no domésticas (ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, con una carga menor o igual a 625,00 kg/día”.

Es de anotar que, el diseño de un sistema de tratamiento debe contar con caja muestreadora a la entrada y salida del mismo. Esta caja debe permitir la toma de muestras y medir el caudal correspondiente.

Los componentes del sistema son los siguientes:

- **Trampa de Grasas.** La trampa de grasas consiste en un pequeño tanque o caja cubierta, provista de una entrada sumergida y de una tubería de salida que parte cerca del fondo. Tiene por objeto interceptar las grasas y jabones presentes en las aguas negras provenientes de descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en la subestación. Por consiguiente, la función más importante de la trampa de grasas es evitar que las grasas y jabones vayan disminuyendo así la eficiencia de esos sistemas.
- **Tanque Séptico.** Los tanques sépticos son dispositivos que permiten un tratamiento primario de las aguas residuales, reduciendo su contenido en sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes. Generalmente, se disponen enterradas y constituyen uno de los tratamientos previos más usados en los sistemas de depuración descentralizados y en aglomeraciones de tamaño muy pequeño. Se recomienda que la construcción de este sistema se realice preferiblemente en concreto, y en su defecto, se pueden utilizar sistemas prefabricados, pero únicamente de fibra de vidrio reforzada, garantizando su estabilidad estructural en cuanto a empujes del terreno, evitar efecto de flotación en caso de niveles freáticos altos y de fácil acceso para el mantenimiento.
- **Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).** El FAFA está constituido por un tanque o columna relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio, donde el agua circula de manera ascendente atravesando el medio. Se recomienda que la construcción de este sistema se realice preferiblemente en concreto, y en su defecto, se pueden utilizar sistemas prefabricados, pero únicamente de fibra de vidrio reforzada. Puede estar implementando en conjunto con el tanque séptico.
- **Humedales artificiales superficiales de flujo horizontal.** Los humedales artificiales son sistemas de depuración en los que se reproducen o se simulan los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en las zonas húmedas naturales. El Sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado; la acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.

Se trata de un sistema de tratamiento no convencional, que permite la eliminación de carga contaminante generando un vertimiento nulo, donde se consideran las pérdidas

por evaporación y los requerimientos fisiológicos de las especies de plantas que se siembran en el mismo. El tipo de humedal a implementar será del tipo flujo subsuperficial horizontal, de dos (2) compartimentos, en el cual las aguas fluyen por el sistema bajo la superficie, y permanece permanentemente inundado. Estará compuesto por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluente.
- Impermeabilización del fondo y laterales con geomembranas.
- Medio granular.
- Vegetación emergente típica de zonas húmedas.
- Estructuras de salida regulable para controlar el nivel del agua. (Caja sifón).

Por lo tanto, no se generarán vertimientos al suelo, ni a cuerpos de agua.

#### 2.3.5.4 Ocupaciones de cauces, lechos y playas fluviales

Se requiere el permiso de ocupación de cauce para las obras de descarga del drenaje de aguas lluvias de la subestación, en la fuente hídrica ubicada al Sur-Este del lote de la subestación y para las cimentaciones de la torre T-13M, de esta manera, se estiman 3 ocupaciones de cauce, siendo las denominadas Descarga 1 ([Desc\\_OC\\_1](#)) y Descarga 2 ([Desc\\_OC\\_2](#)) entregas de aguas lluvias sobre el cuerpo de agua denominado “Quebrada NN” (Afluente sin nombre 5), y las cimentaciones de la torre T-13M ([Torre\\_T13M](#)) consiste en la estructura de apoyo para la torre 13, sobre la margen izquierda del río Cauca.

En la Tabla 2-99, se consignan las coordenadas asociadas a las tres (3) ocupaciones proyectadas.

**Tabla 2-99. Ocupaciones de Cauce proyectadas.**

ID ocupación de cauce	Cuerpo de agua	Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional	
		Este	Norte
Descarga 1 ( <a href="#">Desc_OC_1</a> )	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	4702657,77	2200952,82
Descarga 2 ( <a href="#">Desc_OC_2</a> )	Quebrada NN (Afluente sin nombre 5)	4702698,16	2200984,42
Área de intervención cimentación T-13M ( <a href="#">Torre_T13M</a> )	Río Cauca	4703472,14	2201110,13
		4703475,37	2201138,18
		4703476,03	2201141,91
		4703507,90	2201139,00
		4703504,99	2201107,14

Fuente: SAG, 2024

En el en el Capítulo 7 Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales, se presentan los detalles de diseño y demás información relacionada con las ocupaciones de cauce. Así mismo, en el ANEXO\_7\_2\_FUN\_OC se presenta el Formulario Único Nacional correspondiente para cada una de las tres (3) ocupaciones de cauce.

Para analizar el comportamiento hidráulico de las ocupaciones de interés, se consideraron las condiciones más desfavorables (caudales máximos) asociadas a la ocurrencia de eventos de inundación desde 2,33 hasta 100 años de periodo de retorno. Lo anterior, desarrollado en el área aferente al proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios, tanto para condiciones existentes como proyectadas. Su ejecución, se realizó mediante la implementación del software HEC-RAS 6.4.1 en su módulo 2D. en el Capítulo 7 se relacionan las descripciones sobre la información disponible, modelo utilizado y resultados obtenidos.

### 2.3.5.5 Aprovechamiento forestal

Para estimar los valores de volumen total y comercial de los individuos objeto de aprovechamiento forestal, se partió de los datos obtenidos en el inventario forestal al 100% del área de aprovechamiento, el cual consistió en recorridos por las áreas de intervención, en donde se identificaron todos los individuos de tipo arbóreo (DAP mayor a 10 cm). En estas áreas se seleccionaron los individuos que requieren ser removidos para la construcción del Proyecto. En la Tabla 2-100 se muestran las ecuaciones utilizadas para calcular el volumen total (VT) y comercial (VC) de los individuos presentes en el área de intervención.

**Tabla 2-100. Ecuaciones para el análisis de datos dasométricos y de volumen con los datos recopilados en campo.**

Variable	Ecuación	Observaciones
Circunferencia cuadrática	$Cc = \sqrt{[CAP (1)]^2 + [CAP (2)]^2 + \dots + [CAP (n)]^2}$	Cc: circunferencia cuadrática CAP (n): circunferencia a la altura del pecho de la reiteración n
Diámetro a la altura del Pecho	$DAP = \frac{CAP}{\pi}$	DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm) CAP: Circunferencia a la altura del pecho (cm)
Área Basal	$AB = \pi \left( \frac{DAP (cm)}{2} \right)^2$	AB: Área basal en m <sup>2</sup> D: Diámetro a la altura del pecho (cm)
Volumen total	$VT = AB * AT * FF$	VT = Volumen total AB = Área basal (m <sup>2</sup> ) AT = Altura total del individuo muestreado (m) FF = Factor de forma (0,7)
Volumen Comercial	$VC = AB * AC * FF$	VC = Volumen comercial AB = Área basal (m <sup>2</sup> ) AC= Altura comercial del individuo muestreado (m) FF = Factor de forma (0,7)

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Para efectos de la solicitud del permiso de aprovechamiento forestal, se anexa en el Capítulo 7 el Formulario Único Nacional (FUN), requerido para gestionar dichos permisos, como lo establece la normatividad ambiental vigente

### **2.3.5.6 Solicitud de intervención de especies en veda**

En el Capítulo 7 se presenta la solicitud de intervención de especies en veda nacional y regional, dado que se encontraron especies pertenecientes a epífitas vasculares y no vasculares, las cuales se encuentran en categoría de veda nacional y algunas especies en veda regional. Para la caracterización de especies que se encuentran en veda de orden nacional, se implementó la metodología presentada en el literal Plantas de hábito epífito, lianescente y líquenes.

### **2.3.5.7 Recolección de especímenes de especies silvestres de la biodiversidad**

Teniendo en cuenta la circular externa No. 00001 expedida por el director general de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el 18 de marzo de 2022, donde se menciona que para los proyectos que se encuentren en elaboración de EIA y sus complementos, no se debe incluir la solicitud de un permiso, sino que se deben incluir las medidas de manejo correspondientes para la prevención, mitigación, corrección y/o compensación a las que haya lugar que se deriven de los procesos de captura, remoción o extracción temporal o definitiva del medio natural de especímenes de la diversidad biológica, durante la ejecución de un proyecto, obra o actividad, por tanto no se incluye dicho permiso dentro del presente EIA.

Es importante indicar que tanto para el desarrollo del plan de compensación como para la implementación de los Planes de Manejo Ambiental (PMA) y Planes de Seguimiento y Monitoreo (PSM) a ser aprobados por la Autoridad Ambiental, que requieren procesos de captura, remoción o extracción temporal o definitiva del medio natural de especímenes de la diversidad biológica, durante la vida útil del proyecto, estos se ejecutarán mediante las metodologías para el muestreo de grupos biológicos presentadas en el Capítulo 10.1 Programas de Manejo Ambiental, en el ANEXO\_10\_3\_4\_METODOLOGIAS.

### **2.3.5.8 Emisiones atmosféricas**

Dadas las características propias del proyecto a desarrollar, durante las fases de construcción y operación NO se requiere el emplazamiento de fuentes fijas de emisión atmosféricas como es el caso de plantas de trituración, plantas de concreto o plantas de otro tipo de beneficio de materiales, u otras actividades que requieran de un permiso de emisiones atmosféricas, sin embargo, el EIA presentado incorpora la cuantificación o inventario de emisiones atmosféricas y de ruido, y su respectiva modelización. A continuación, se describen los procedimientos aplicados para su desarrollo.

- Modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos

La implementación de la simulación de dispersión atmosférica de contaminantes tiene por objeto la cuantificación de la magnitud y distribución espacial del posible impacto sobre la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, tomando como indicadores los

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

contaminantes criterio PM10 y PM2.5 emitidos por los procesos que tienen lugar durante la fase de construcción (obras de construcción, adecuaciones, descapote y transporte) , el impacto denominado alteración de la calidad del aire fue interpretado para el propósito de la modelación de calidad del aire como Aumento de la Concentración de contaminantes criterio en el aire; el sistema de modelación usado fue AERMOD en versión 19191 junto con los preprocesadores asociados AERSURFACE, AERMET y AERMAP correspondientes a la citada versión.

Las actividades desarrolladas para la simulación se relacionan en seguida:

1. Definición del dominio de modelación
2. Mallado de receptores para modelación y receptores sensibles.
3. Procesamiento de la topografía del área de influencia en AERMAP dentro del dominio de modelación.
4. Adquisición de información meteorológica de altura y de superficie del modelo *WRF (Weather Research and Forecasting)* para ser procesada en AERMET según recomendaciones de la EPA extraídas con la interfaz MMIF.
5. Definición del escenario de modelación e inventario de emisiones basado en factores de emisión del AP42 y del NPI, así como el modelo de emisiones IVE (*International Vehicle Emissions Model*)
  - a. Se desagregó espacialmente el inventario de emisiones incluyendo los polígonos de las fuentes según su geometría, así como los segmentos de vías configurándolos según recomendaciones de la EPA.
  - b. Se desagregó temporalmente el inventario de emisiones según las horas del día que el proyecto estableció para el desarrollo de actividades.
  - c. Se desagregó temporalmente el inventario de emisiones de material particulado incluyendo factores de atenuación mensuales basados en una proporción inversa del número de días de lluvia con precipitación mayor a 0.254 milímetros de agua, si bien esta atenuación es recomendada en los documentos del AP42 para vías, la emisión de la obra civil también depende de la humedad de los materiales que estarán a la intemperie.
6. Se definió la concentración de línea base a partir de la información adquirida en la campaña de monitoreo.
7. Se ejecutó el modelo AERMOD con la configuración recomendada por la EPA para los datos disponibles, las salidas de concentración corresponderán a los periodos de exposición de la normatividad RES-MADS-2254/2010 aplicable para cada contaminante.
8. Se sumó la concentración de línea base junto con la concentración dada por el modelo para obtener las concentraciones esperadas en el dominio de modelación por la inclusión de las actividades.
9. Se compararon los valores obtenidos con la normatividad aplicable y se evaluaron las zonas donde se predicen aumentos de concentración significativos.

En la metodología descrita permitirá esperar un adecuado grado de confiabilidad sobre el modelo ya que:

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- a) Toma topografía a resolución de 30 m para la zona lo cual permite tener en cuenta las diferencias de altura entre las fuentes y los receptores, introduciendo el preprocesador AERMAP el cual a su vez incorpora el tratamiento de terreno complejo a AERMOD.
- b) Toma datos de meteorología del modelo *WRF* actualizada para el año 2021 de una empresa con alta experiencia en caracterización meteorológica en el país, lo cual permite definir variables de transporte hora a hora en el modelo con mayor confiabilidad.
- c) Ejecuta el preprocesador AERMET con las recomendaciones de la EPA para velocidades del viento bajas evitando la sobrestimación, usando la cantidad máxima de sectores y ampliando el rango de cálculo para las variables de uso del suelo acorde con coberturas actualizadas.
- d) Desagrega el inventario de emisiones espacialmente, permitiendo especializar los impactos esperados, lo cual a su vez permitirá identificar áreas que podrían ser sensibles cerca de las fuentes.
- e) Desagrega el inventario de emisiones temporalmente ajustándolo a las horas en que estará realizándose la construcción, esto evita suponer una emisión constante y extendida durante todo el año lo cual podría producir zonas de concentración elevada que presentan un alto grado de incertidumbre. También se realiza una desagregación mensual para el material particulado incluyendo atenuaciones a las emisiones inversamente proporcionales al número de días de lluvia en el mes según recomendaciones de la EPA para vías, esto se extrapola a todas las fuentes, permitiendo tener una mejor aproximación al comportamiento temporal medio de las concentraciones a lo largo del año afectando en menor medida los máximos niveles de concentración esperados en los periodos cortos de exposición.
- f) Define una concentración de fondo y configura las salidas del modelo basados en la probabilidad de ocurrencia de los resultados del modelo, según lo recomendado en (Guerra, Olsen, & Anderson, 2014).

Finalmente, debe tenerse en cuenta que el nivel de interpretación del modelo se tiene su fundamento en la probabilidad de ocurrencia de eventos de alta concentración y áreas donde podrían esperarse sobrepasos a la norma diaria y anual según la conceptualización realizada; a pesar de ello, las obras en realidad podrían desarrollarse con un intensidad inferior a la modelada por diferencias en el cronograma de ejecución y podrían no presentarse en los meses que quedaron definidos en el modelo, aun así se consideran los escenarios analizados como críticos en cuanto a las emisiones de contaminantes, con adecuada aproximación a la realidad y rigor estadístico de forma que el modelo es conservador en cuanto a la predicción de los impactos.

### **2.3.5.9 Materiales de construcción**

Los materiales de construcción requeridos serán utilizados en la preparación de concretos para las cimentaciones de las estructuras, construcción de obras de drenaje y estabilización. Dichos materiales se obtendrán de plantas de extracción y trituraciones existentes en la región, cuya actividad esté debidamente legalizada, mediante los títulos mineros y los permisos exigidos por la Autoridad Ambiental, y desde allí serán llevados

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

directamente a los frentes de trabajo. Así, los materiales pétreos serán adquiridos en sitios autorizados, como la Cantera San Lorenzo, ubicada en el km 2,3 vía La Pintada – Aguadas, a 20 minutos aproximadamente del sitio donde se emplazará la subestación y donde se ubicará el patio de almacenamiento de materiales.

La cimentación más frecuente para las diferentes torres consiste en la construcción de macizos de hormigón, en las zonas donde existen fuentes con materiales de buena calidad. Para los sectores con materiales de baja resistencia, será necesaria la utilización de parrillas de refuerzo en acero.

El concreto necesario para las cimentaciones de las torres puede ser preparado de forma mecánica, en centrales de mezcla próximas a la zona y transportado en camiones mezcladores a los sitios de cada torre, con este procedimiento se asegura la calidad del concreto utilizado.

En los sectores de difícil acceso el concreto puede ser preparado manualmente en cada sitio con los recursos técnicos necesarios para obtener un concreto con la calidad y resistencia exigida por las respectivas especificaciones de construcción.

Los materiales pétreos y granulares necesarios en la construcción de las obras, se obtendrán de sitios autorizados, como la Cantera San Lorenzo, ubicada en el km 2,3 vía La Pintada – Aguadas, a 20 minutos aproximadamente del lote de la Subestación Carrieles a 230 mil voltios donde se contará con el patio de almacenamiento. También se podrá utilizar la Cantera Peñalisa S.A. En el Capítulo 7 Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales, se presenta el listado de canteras autorizadas que se podrán utilizar, en Jericó y Fredonia, y de ser necesario en zonas aledañas al proyecto.

Asimismo, se podrán adquirir de otros sitios autorizados que en fase de construcción del proyecto que cuenten con:

- Licencia ambiental vigente de la cantera (nacional o regional).
- Autorización vigente de la Agencia Nacional Minera (ANM) para la cantera y certificado de origen del material
- Título Minero registrado y vigente.
- Certificado de Registro único de comercializadores (RUCOM): aplica para el titular minero, operador minero y comercializador.
- Facturas de compra a nombre de contratista y/o destinada a uso del proyecto.

Del mismo modo, en el Capítulo 10.1 Plan de Manejo Ambiental, numeral 10.1.1 Programas de manejo ambiental, se presenta el listado de algunos sitios de disposición final para gestionar los residuos de construcción y demolición (RCD) cercanos al área de influencia del proyecto, inscritos en CORANTIOQUIA. Además, se podrán utilizar gestores adicionales que cuenten con los permisos y autorizaciones de la autoridad competente.

Asimismo, en el Capítulo 10, numeral 10.1 Plan de Manejo Ambiental, se establece el manejo de los residuos de demolición y construcción (RCD), tales como escombros, retales de madera, sacos de cemento vacíos, fracciones pequeñas de metal, entre otros; según la

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

jerarquía en la gestión integral de los RCD (prevención y reducción, recolección y transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final) conforme a lo dispuesto en la Resolución 472 de 2017, así como las normas que modifiquen deroguen o adicionen o aquellas que se encuentren vigentes al momento de realizar las obras.

### 2.3.6 Evaluación ambiental

Para la identificación y evaluación de los posibles impactos ambientales asociados al proyecto, se calificaron dos escenarios: Uno sin proyecto, que permite identificar el estado actual del área de influencia antes de desarrollar el proyecto, y otro con proyecto, para estimar los potenciales impactos debido a su construcción y operación.

Para los dos escenarios se utilizó la metodología de Conesa Fernández<sup>216</sup> modificada, donde se tuvo en cuenta el documento Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA emitido por dicha Autoridad en enero de 2024, y se desarrolló mediante un panel de expertos, en cumplimiento de lo establecido en los Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17 de 2018 acogidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) mediante la Resolución 0075 del 18 de enero de 2018, así como la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales adoptada por la ANLA mediante Resolución 1402 del 25 de julio de 2018. En los dos ejercicios, escenario sin y escenario con proyecto, se llegó a la calificación de importancia del impacto, la diferencia entre los dos escenarios radica en la estructura de las fichas de descripción de los impactos, que en el escenario con proyecto presentan mayor detalle a nivel de interacción, donde se discrimina la importancia por fase del proyecto y actividad generadora para cada impacto, de acuerdo con las relaciones causa – efecto (ver numeral 2.3.6.2), mientras que, en el escenario sin proyecto se presenta por impacto, agrupando los efectos de las actividades impactantes consideradas en el análisis (ver numeral 2.3.6.1).

La evaluación ambiental se desarrolló considerando la descripción del proyecto presentada en el Capítulo 3 del presente EIA, los resultados obtenidos en la caracterización ambiental de las áreas de influencia del proyecto que se presenta en el Capítulo 5, la zonificación ambiental presentada en el Capítulo 6, y la demanda, uso y aprovechamiento de recursos naturales presentada en el Capítulo 7.

#### 2.3.6.1 Identificación y evaluación de impactos en el escenario sin proyecto

La identificación y evaluación de impactos sin proyecto permitió identificar el estado actual de la zona antes de desarrollar el proyecto, y se realizó a partir de una síntesis del estado actual de los componentes y factores de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, para el área de influencia del proyecto y su sensibilidad ambiental, cruzado con el análisis de interacciones y tendencias de las actividades desarrolladas actualmente en la zona que han generado cambios en el entorno, considerando la perspectiva del desarrollo regional y local, la dinámica económica, los planes

<sup>216</sup> CONESA FERNANDEZ, Vicente. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Cuarta Edición. Madrid. 2010. p. 864.

gubernamentales, la preservación y manejo de los recursos naturales y las consecuencias que para los ecosistemas de la zona tienen las actividades antrópicas y naturales propias de la región, así como con la información sobre los conflictos ambientales existentes para cada uno de los medios, incluyendo los que se presentan por el uso de los recursos naturales.

### 2.3.6.2 Identificación y evaluación de impactos en el escenario con proyecto

Para la identificación y evaluación de impactos con proyecto, se identificaron las actividades del mismo que pueden causar impactos y los componentes y los factores de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y el componente paisaje, que se consideran susceptibles de alteración, luego, se determinaron las interacciones que representan los impactos ambientales entre las actividades del proyecto con los componentes identificados, mediante la Matriz de Identificación de Interacciones, en la que se señala cada celda de interacción.

Una vez realizada la identificación de acciones impactantes e identificación de los componentes y factores ambientales susceptibles a recibir cambios, se identificaron los aspectos ambientales y potenciales impactos ambientales asociados al proyecto, a continuación, los impactos ambientales se incorporaron en las interacciones previamente determinadas en la Matriz de Interacciones, constituyendo así la Matriz de Impactos, que cuenta con un grado mayor de desarrollo, en la que se valoraron los impactos ambientales identificados, considerando los criterios carácter, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad para definir el rango de importancia ambiental de cada impacto, como lo propone la Metodología de Conesa Fernández Vítora, cuyos resultados se consolidaron en la Matriz de Importancia. Dicha metodología incluye un sistema de calificación para cada criterio que oscila con valores entre 1 y 12, de acuerdo con las características cualitativas determinadas para cada uno de los impactos a evaluar, como se muestra en la Tabla 2-101.

**Tabla 2-101. Criterios para la evaluación de los impactos.**

Criterios		Definición	Calificación	Valor
CA	Carácter	El carácter o signo de un impacto, hace alusión al carácter beneficioso o perjudicial de las actividades del proyecto en relación a los componentes y factores ambientales.	Positivo. Cuando el resultado de la acción sobre el factor ambiental considerado produce una mejora de la calidad ambiental del mismo.	(+)
			Negativo. Cuando el resultado de una acción produce una disminución de la calidad ambiental del factor considerado.	(-)
IN	Intensidad	Se refiere al grado de incidencia de la actividad o acción sobre un factor determinado en el ámbito específico en el que actúa.	Baja o mínima. Expresa una afección mínima y poco significativa o un grado bajo de mejora cualitativa de la calidad del factor.	1
			Media. Expresa una afección intermedia o un grado medio de	2

Criterios		Definición	Calificación	Valor
			mejora cualitativa de la calidad del factor.	
			Alta. Expresa una afección significativa o un grado alto de mejora cualitativa de la calidad del factor.	4
			Muy Alta. Expresa una afección muy significativa o un grado muy alto de mejora cualitativa de la calidad del factor.	8
			Total. Expresa una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto o un grado de restauración o reconstrucción total del factor.	12
EX	Extensión	<p>La extensión es el atributo que refleja la fracción del medio afectada por la acción del proyecto.</p> <p>-Puntual: efecto localizado.</p> <p>-Parcial: no admite una ubicación precisa dentro del entorno proyectado.</p> <p>-Amplia o extensa: situaciones intermedias que se evalúan según su degradación.</p> <p>-Total: no admite una ubicación precisa dentro del entorno proyectado, teniendo una influencia generalizada sobre todo él.</p> <p>-Crítica: cuando el impacto se produce en un lugar crucial o importante.</p>	Puntual. Si la acción produce un efecto muy localizado.	1
			Parcial. Si la acción produce un efecto en una extensión intermedia con respecto al entorno total.	2
			Amplia o extenso. Si la acción produce un efecto en un área muy extensa.	4
			Total. El efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él.	8
			Crítica. Independientemente de la extensión del impacto, si este se encuentra ubicado en un lugar crítico se debe añadir esta puntuación (ejemplo: zonas protegidas, zonas inestables, conflictos sociopolíticos, etc.).	(+4)
MO	Momento	<p>El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.</p>	Largo plazo. Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto es mayor a 10 años.	1
			Medio plazo. Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto va de 1 a 10 años.	2
			Corto plazo. Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la	3

Criterios		Definición	Calificación	Valor
			acción y el comienzo del efecto es inferior a 1 año.	
			Inmediato. Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea nulo.	4
			Crítico. Adicional a las calificaciones anteriores, sumar esta puntuación si las condiciones naturales en las cuales se manifiesta el impacto son críticas (ejemplo: hora del día, meses del año, etc.).	(+4)
PE	Persistencia	Se refiere al tiempo que permanece el efecto desde su aparición, y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción	Fugaz o efímero. Cuando la permanencia del efecto es mínima o nula.	1
			Momentáneo. Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de 1 año.	1
			Temporal o transitorio. Si la permanencia del efecto tiene lugar entre 1 y 10 años.	2
			Pertinaz o persistente. Si la permanencia del efecto tiene lugar entre 11 y 15 años.	3
			Permanente y constante. Si la permanencia del efecto tiene una duración superior a los 15 años.	4
RV	Reversibilidad	Se refiere a la reconstrucción del factor afectado por proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez se deja de actuar sobre el medio.	Corto plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 1 año.	1
			Mediano plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo entre 1 y 10 años.	2
			Largo plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo entre 11 y 15 años.	3
			Irreversible. Cuando el factor ambiental alterado no puede retornar, sin la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 15 años.	4

Criterios		Definición	Calificación	Valor
<b>MC</b>	<b>Recuperabilidad</b>	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana, o sea mediante la aplicación de medidas correctoras o medidas de manejo.	De manera inmediata. Cuando el efecto es totalmente recuperable o neutralizable de manera inmediata.	1
			A corto plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, con intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 1 año.	2
			A mediano plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, con intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo entre 1 y 10 años.	3
			A largo plazo. Cuando el factor ambiental alterado puede retornar, con la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo entre 11 y 15 años.	4
			Mitigable, sustituible y compensable. En el caso de que la alteración se recupere parcialmente, al cesar o no, la presión provocada por la acción, y previa incorporación de medidas correctoras.	4
			Irrecuperable. Cuando el factor ambiental alterado no puede retornar, con la intervención humana, a sus condiciones originales en un periodo inferior a 15 años.	8
<b>SI</b>	<b>Sinergia</b>	Hay sinergia si dos efectos se manifiestan conjuntamente, y ello es mayor que sus manifestaciones aisladas.	Sin sinergismos (simple). Cuando una acción sobre un factor no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor (no potencia la afectación).	1
			Sinergismo moderado. Cuando una acción sobre un factor presenta un sinergismo moderado.	2
			Sinérgico. Cuando una acción sobre un factor presenta un sinergismo con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, potenciándose la manifestación de manera ostensible.	4
<b>AC</b>	<b>Acumulación</b>	La acumulación da idea del incremento progresivo o no de la manifestación de la alteración sobre la(s) variable(s) evaluada(s),	Simple. Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación ni en la de su sinergia.	1

Criterios		Definición	Calificación	Valor
		considerando la acción continuada y reiterada que lo genera en el área.	Acumulativo. Cuando la acción al prolongarse en el tiempo, incrementa progresivamente la magnitud del efecto.	4
<b>EF</b>	<b>Efecto</b>	Se refiere a la relación causa- efecto o sea a la manifestación del efecto sobre una variable socioambiental como consecuencia de una actividad.	Indirecto. Su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden.	1
			Directo. Es la relación directa entre la acción y el efecto.	4
<b>PR</b>	<b>Periodicidad</b>	Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible en el tiempo, o constante en el tiempo.	Irregular y discontinuo. Cuando la manifestación del efecto se repite en el tiempo de una manera irregular e imprevisible sin cadencia alguna.	1
			Periódico. Cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y una cadencia establecida.	2
			Continuo. Cuando las acciones que producen el efecto, permanecen constantes en el tiempo.	4

*Fuente: SAG, 2024 con base en Conesa Fernández Vítora, 2010*

Considerando los valores dados para cada criterio y la siguiente fórmula, se obtuvo la calificación de importancia para cada impacto, donde el menor valor posible es de 13 y el valor más alto es de 100.

Ecuación para calcular la Importancia:

$$I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + RP + SI + AC + EF + PR)$$

En la Tabla 2-102 se presenta la escala de valoración y calificación de la importancia de carácter negativo (-) o perjudiciales y de carácter positivo (+) o benéficos.

Esta escala considera como impactos significativos aquellos cuyo valor absoluto de importancia es mayor o igual a 25 evaluados como impactos moderados, severos y críticos, es decir, que requieren de la implementación de medidas específicas de manejo para minimizar la importancia del impacto durante la construcción y operación del proyecto. Mientras que los impactos no significativos son aquellos cuyo valor absoluto de importancia es menor de 25 evaluados como irrelevantes o compatibles con el medio, ya que estos presentan una mayor asimilación del ambiente tras el cese de las actividades.

Finalmente, vale aclarar que se realizó la evaluación de impactos ambientales en el escenario CON proyecto considerando el escenario más crítico, dado que se identificó inicialmente todas las interacciones que se puedan generar entre las actividades del proyecto para cada una de sus fases (preconstrucción, construcción, operación y mantenimiento, y desmantelamiento y Abandono), posteriormente se procedió a realizar la

calificación de los parámetros propuestos por Conesa Fernández en su metodología de evaluación, esto arroja diferentes calificaciones y resultados para un mismo impacto pero evaluado para cada una de las actividades con las que este presentó interacción (actividades generadoras de impacto); esta situación arroja que un impacto se puede generar por diferentes actividades y así mismo este presenta a lo largo de la vida útil del proyecto una calificación de importancia diferencial. Metodológicamente los parámetros de extensión, intensidad, recuperabilidad y reversibilidad permitieron identificar cual fue la actividad con mayor significancia en la materialización de un mismo impacto.

**Tabla 2-102. Rangos de calificación y valoración de la importancia ambiental.**

Escala de valoración	Importancia de carácter negativa	Escala de valoración	Importancia para impactos positivos
0 a -24	Irrelevante	0 a 24	Irrelevante
-25 a -50	Moderado	25 a 50	Moderado
-51 a -75	Severo	51 a 75	Severo
-76 a -100	Crítico	76 a 100	Crítico

*Fuente: SAG, 2024 con base en Conesa Fernández Vítora, 2010*

Además, se evaluaron posibles superposiciones con proyectos licenciados en el área de influencia, según lo establecido en el Artículo 2.2.2.3.6.4 del Decreto 1076 de 2015 o aquel que lo modifique, sustituya o derogue.

### 2.3.6.3 Identificación y evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos

De acuerdo con la International Finance Corporation (IFC)<sup>217</sup>, los impactos acumulativos se producen porque se desarrollan una serie de proyectos del mismo tipo en la misma área o resultan de los efectos combinados de diferentes tipos de proyectos sobre un mismo recurso.

En cuanto a las formas de acumulación, según la IFC<sup>218</sup>, los impactos acumulativos pueden ser combinados, y éstos a vez “pueden ser aditivos (por ejemplo, iguales a la sumatoria de los efectos individuales), sinérgicos (por ejemplo, el efecto total es mayor que la suma de los efectos individuales), o antagónicos (por ejemplo, efectos individuales que se contrarrestan o neutralizan entre sí)”. Los impactos sinérgicos son un tipo de impacto acumulativo.

Con el propósito de evaluar los impactos acumulativos que se generan en el área de influencia del proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios, se toman en cuenta los siguientes proyectos presentes en dicha área:

- Autopista Conexión Pacifico 2

<sup>217</sup> International Finance Corporation. Manual de buena práctica – Evaluación y gestión de impactos acumulativos. Guía para el sector privado en mercados emergentes. 2013. 104 p.

<sup>218</sup> *Ibid.*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Como se mencionó en el numeral 2.1.4, en el área de influencia se ubica la Autopista Conexión Pacífico 2 (vía La Pintada – Bolombolo), actualmente en operación. Esta vía primaria de cuarta generación (4G) se encuentra localizada a la margen izquierda del Río Cauca y comunica La Pintada con Bolombolo y hace parte del primer grupo de concesiones viales de 4ª Generación de las denominadas Autopistas de la Prosperidad; incluye la construcción, mantenimiento y operación de la nueva vía La Pintada – Bolombolo y la rehabilitación, mantenimiento y la operación de la vía La Pintada – Primavera”<sup>219</sup>.

Esta vía será utilizada como acceso principal a las obras y de esta se desprenderá una nueva vía de acceso interna a la subestación Carrieles como se detalla en el Capítulo 3. Descripción del proyecto.

- Proyecto Sistema de Transporte de Hidrocarburos Poliducto Sebastopol – Medellín – Cartago

En el costado oriental del área de influencia se ubica el poliducto Sebastopol-Medellín-Cartago del operador CENIT Logística y Transporte de Hidrocarburos S.A.S. con expediente ANLA LAM0520; sin embargo, dicho poliducto no se superpone con el área de intervención del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios.

- Proyecto EPM Subestación Carrieles 110/44/13.2 kV

Proyecto de transmisión de energía propiedad de EPM, cuenta con licencia ambiental otorgada por CORANTIOQUIA mediante Resolución N°040-RES2312-6821 del 21 diciembre 2023, y comprende la construcción de:

- v. La conexión de la Subestación Carrieles con autotransformadores de 60 MVA – 220/110 kV.
- vi. Una configuración de barra principal más transferencia en 110 kV, instalando un transformador 45/60 MVA - 110/44 kV y una configuración de barra sencilla en 44 kV, además de un transformador 16/20 MVA - 44/13.2 kV.
- vii. Edificio de control y la instalación de nuevas celdas 13.2 kV
- viii. La conexión a las líneas de transmisión hacia Amagá e Hispania a 110 kV para conformar los corredores Carrieles - Amagá y Carrieles – Hispania a 110 kV. También, la conexión a las líneas de transmisión hacia Jericó 44 kV y Fredonia a 44 kV.

- Línea de transmisión Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV

La línea de transmisión Ancón Sur – Esmeralda II 230 kV del operador INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P. - ISA a la cual se tiene proyectada la conexión con el proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, en la torre de retención (torre 79).

- Proyecto Multipropósito Agua Fresca (energía y acueducto)

En el área de influencia se ubica el Proyecto Multipropósito Agua Fresca, con generación de energía y aprovechamiento de las aguas turbinadas para usos doméstico, riego y

<sup>219</sup> Concesión La Pintada. Autopista Conexión Pacífico 2 – Quiénes somos. Disponible en: <http://www.concesionlapintada.com/caracteristicas/>. Consulta: octubre de 2021.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

pecuario (energía y acueducto) sobre el río Piedras (ver Figura 2-4), este proyecto es propiedad de la Sociedad Energía Del Río Piedras S.A.S. E.S.P., con expediente CORANTIOQUIA CA3-2001-155.

- Parcelación Pueblo Cauca Viejo P.H

El pueblo Cauca Viejo fue fundado en 1998, actualmente opera como una urbanización privada, residencial y turística, conformada por el Hotel De Cauca Viejo Fundadores y alrededor de 190 casas privadas. Esta parcelación no se superpone con el proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios.

- Títulos mineros

Con relación a los títulos mineros, se consideraron aquellos con los que se presenta superposición con el proyecto (Ver Tabla 2-3).

**Tabla 2-103. Títulos mineros vigentes en el área de influencia del proyecto.**

Código Expediente	Titulares	Minerales	Estado
SBO-10141	Concesión La Pintada S.A.S.	Arenas Arcillosas, Arenas Feldeespáticas, Arenas Industriales, Arenas y Gravas Silíceas, Gravas, Recebo Materiales de construcción	Vigente
G5896005	Empresa Asociativa De Areneros Del Río Poblano, Luz Stella Bedoya Toro, Wilson Aguirre Gaviria	Arenas, Arenas Y Gravas Silíceas	Vigente
H5810005	Fundación Berta Arias De Botero	Anhidrita, Antracita, Arcilla común, Arcillas, Arcillas Especiales, Arcillas Refractarias, Arenas, Arenas Arcillosas, Arenas Feldeespáticas, Arenas Industriales, Arenas y Gravas Silíceas, Areniscas, Asfalto Natural, Azufre, Bauxita, Bentonita, Calcita, Asbesto, Demas Concesibles, Oro, Roca o Piedra Caliza (para Construcción)	Vigente

Fuente: SAG,2024 con información de catastro minero

- Líneas de transmisión de energía existentes
  - Línea existente Ancón Sur - Esmeralda II 230 kV, el proyecto conformará la conexión entre la línea existente Ancón Sur - Esmeralda II 230 kV, propiedad de INTERCONEXIÓN ELECTRICA S.A E.S.P.

### 2.3.6.3.1 Contexto teórico

- Tipos de impactos acumulativos

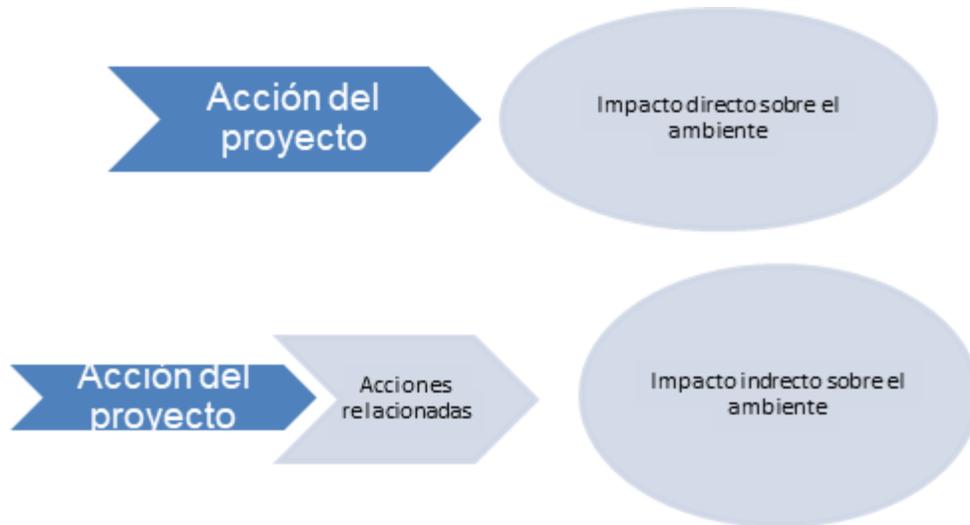
Para la evaluación de los impactos acumulativos, se consideraron los siguientes cuatro tipos de impactos, que se definen de acuerdo con la forma de acumulación:

- Impacto aditivo: es el impacto que no se combina con ningún otro, pero que a través del tiempo, pasado, presente y futuro, van incrementando su valor.
- Impacto interactivo: son impactos individuales que combinados, generan otro efecto diferente al de cada impacto por separado; los impactos no necesariamente son generados por un solo proyecto.
- Impacto indirecto o secundario: son causados por una acción, pero sus efectos se presentan más tarde o más lejos del punto donde ésta se presenta, pero son todavía razonablemente previsibles. Los impactos indirectos pueden incluir cambios inducidos en los patrones de uso del suelo, densidad de población o tasas de crecimiento y efectos relacionados con el aire y el agua y otros sistemas naturales, incluyendo los ecosistemas. Se consideran sinónimo de impacto secundario.
- Impacto combinado. Según la IFC<sup>220</sup>, “Los impactos combinados pueden ser aditivos (por ejemplo, iguales a la sumatoria de los efectos individuales), sinérgicos (por ejemplo, el efecto total es mayor que la suma de los efectos individuales), o antagónicos (por ejemplo, efectos individuales que se contrarrestan o neutralizan entre sí)”.

La Figura 2-33 es una ilustración de la relación causa-efecto en los impactos directos e indirectos de una acción propuesta. Como el nombre lo indica, los impactos directos son aquellos que son causados directamente por las actividades del proyecto, en este caso el proyecto Interconexión Carreles a 230 mil voltios. Los impactos indirectos son causados por otra acción o acciones que tienen relación con el proyecto. Estas acciones son a menudo referidas como “si no fuera por” y generalmente ocurren un tiempo después o a alguna distancia de la acción original.

---

<sup>220</sup> Íbid.



**Figura 2-33. Diagramas causa-efecto de los impactos directos e indirectos.**

*Fuente: SAG, 2024*

- Principios para los análisis de impactos acumulativos

El Consejo sobre calidad ambiental de Estados Unidos (Council on Environmental Quality) plantea los siguientes ocho principios para el análisis de los impactos acumulativos:

- Los impactos acumulativos son causados por el conjunto de acciones pasadas, presentes y futuras razonablemente previsibles.
- Los impactos de una acción propuesta sobre un recurso dado, o ecosistema, o comunidad, incluyen los impactos presentes y futuros añadidos a los impactos que han ocurrido en el pasado. También deben ser adicionados a impactos del pasado, el presente y el futuro, causados por otras acciones que afectan el mismo recurso.
- Los impactos acumulativos son el efecto total sobre un recurso dado, de los impactos directos como indirectos.
- Los impactos individuales de actividades dispares pueden sumar o actuar recíprocamente para causar impactos adicionales no evidentes, cuando se están mirando los impactos individuales uno por uno. Los impactos adicionales, reforzados por acciones sin relaciones a la acción propuesta, deben ser incluidos en el análisis de impactos acumulativos.
- Los impactos acumulativos deben ser analizados en términos del recurso específico, el ecosistema y la comunidad que son afectados.
- Los impactos ambientales a menudo son evaluados en la perspectiva de la acción propuesta. El análisis de impactos acumulativos requiere el enfoque del recurso, el ecosistema y la comunidad que pueden ser afectados, y el desarrollo de un

entendimiento adecuado de cómo los recursos son susceptibles a ser afectados por los impactos (sensibilidad).

- El análisis de impactos ambientales se debe enfocar sobre aquellos que son realmente significativos.
- Para que el análisis de los impactos acumulativos sea útil en la toma de decisiones, deben ser limitados, mediante un análisis de alcance, a los impactos significativos que pueden ser evaluados. Las fronteras para evaluar impactos acumulativos deberían ser ampliadas, si existe un recurso que es afectado considerablemente, o si el tipo de impacto es de interés para el evaluador.
- El efecto acumulativo no está limitado con fronteras políticas o administrativas.
- Los recursos típicamente son demarcados según responsabilidades de agencias, corporaciones regionales, autoridades locales u otras fronteras administrativas. Como los recursos naturales y socioculturales por lo general no son tan alineados, cada entidad política maneja sólo un segmento del recurso afectado o el ecosistema. El análisis de los impactos acumulativos sobre sistemas naturales debe emplear fronteras naturales ecológicas y el análisis de las comunidades debe establecer las fronteras socio culturales reales para asegurar que se incluyan todos los impactos.
- Los impactos acumulativos pueden resultar de la acumulación de impactos similares o de la interacción sinérgica de diversos impactos.

Las acciones repetidas pueden causar impactos de acumulación a través de la adición simple (más y más del mismo tipo de efecto), así mismo diversas acciones pueden producir impactos, que, interactuando, producen impactos acumulativos mayores que la suma de los impactos.

- Los impactos acumulativos pueden durar por muchos años más allá de la vida de la acción que causó los impactos.

Algunas acciones afectan por un tiempo más que la vida de la acción misma. El análisis acumulativo de los impactos necesita aplicar las mejores técnicas de la ciencia y de pronóstico, para determinar consecuencias potenciales en el futuro.

- Cada recurso afectado, ecosistema y comunidad se debe analizar en los términos de su capacidad para acomodarse a impactos adicionales.

Los analistas tienden a pensar en términos de cómo se modificarán el recurso, el ecosistema, y a la comunidad dada las necesidades de desarrollar el proyecto. El análisis acumulativo de los impactos más eficaz se centra en el análisis de lo que es necesario, para asegurar la productividad o la sustentabilidad del recurso.

En otras palabras, se deben identificar los límites o umbrales a los que puede llegar un elemento, para permitirle que se recupere o adapte a las nuevas condiciones originadas por la presencia de una actividad perturbadora.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

### 2.3.6.3.2 Formas de acumulación de los impactos

Los tipos de impactos definidos anteriormente se pueden acumular en el espacio o en el tiempo, por lo que es necesario realizar los siguientes análisis:

- **Análisis espacial**

La acumulación espacial ocurre cuando la proximidad entre las perturbaciones es más pequeña que la distancia requerida para eliminarlas o dispersarlas. Por lo tanto, se deben describir las principales consideraciones, por las que un impacto tiene acumulación espacial. Para el análisis espacial del impacto se debe considerar:

- Si el cambio ambiental que se está evaluando, tiene un alcance puntual, local o regional.
- Si las perturbaciones se presentan en un solo punto (concentrada), en varios puntos del área de influencia (dispersa), o si se presentan en toda el área de influencia (continua).
- Se debe determinar el patrón de cómo se está presentando la perturbación o sea la forma geométrica como se presenta la modificación: puntual, lineal o de área.

Con base en los análisis anteriores, se determina la frontera espacial o sea el espacio geográfico hasta donde se está presentando la perturbación y la existencia de situaciones especiales que potencialicen el cambio:

- **Análisis temporal**

La acumulación temporal ocurre cuando el intervalo de tiempo entre una perturbación y las sucesivas, es demasiado pequeño como para que un sistema o un componente del sistema o un proceso, pueda asimilar o recuperarse de la perturbación. Para analizar este aspecto, se utilizan las siguientes consideraciones:

- **Características de acumulación.** La acumulación temporal requiere que se consideren los momentos y la frecuencia de la perturbación. Se debe incorporar un horizonte de tiempo suficiente para descubrir en el largo plazo el cambio ambiental incremental y poder visualizar las diferencias. También se deben distinguir los acontecimientos que son permanentes con el tiempo, porque las perturbaciones no siempre son acontecimientos discretos.
- **Frontera temporal.** De igual modo que en lo espacial, el análisis de las consideraciones de temporalidad del impacto acumulativo, debe producir un escenario de análisis, por lo que se considera importante determinar los hitos más importantes en el pasado, presente y futuro que definen el horizonte pasado y futuro hasta donde se extenderá el análisis.

Hasta donde se llega con este análisis, depende de la calidad y cantidad de la información. Igualmente se deben determinar si existen acciones o eventos en el tiempo que potencialicen la perturbación.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Además, en la Guía de la Comunidad Europea se sugiere que por la incertidumbre en el desarrollo de una zona, que depende de los planes de desarrollo del gobierno y de posibles proyectos privados, el análisis a futuro no sea mayor a cinco (5) años.

#### 2.3.6.3.3 Tipos de cambio de los impactos acumulativos

Como se mencionó previamente, uno de los principios de la evaluación de impactos acumulativos, es evaluar aquellos impactos que son significativos. De esta manera, con el fin de definir la significancia, es importante formular hipótesis sobre el tipo de cambio que puede ocurrir:

- Cambio funcional: Comprende las alteraciones en procesos como flujos de energía, transporte de sedimentos, flujos económicos, ciclo nutritivo, sucesión; o modificaciones de propiedades como capacidad de asimilación, capacidad de transporte o umbrales.
- Cambio estructural: Incluye cambios demográficos, modificación de hábitat, y alteraciones a recursos geofísicos (el aire, el agua, el suelo). Es un análisis esencialmente espacial, en el cual se deben mirar aspectos como la invasión de espacios, la transferencia de flujos fuera de los límites originales y los efectos de fragmentación.

#### 2.3.6.3.4 Metodologías de evaluación

Para evaluar los impactos acumulativos se tienen dos (2) tipos de metodologías:

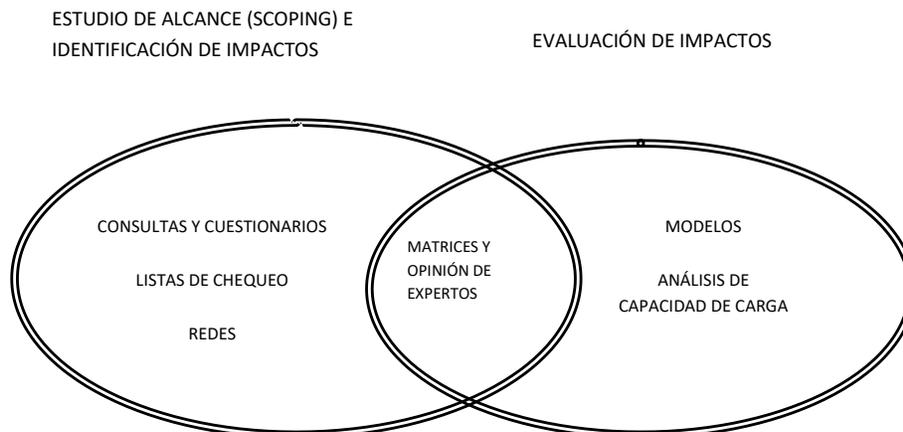
- Las que identifican cómo y dónde se presenta un impacto acumulativo o interactivo (SCOPING).
- Las evaluaciones técnicas, que establecen la magnitud del impacto, basados en su intensidad.

Los dos (2) tipos de metodología no son excluyentes, y se pueden combinar en algún momento del análisis. Algunos métodos, por la manera en que manejan los datos, se pueden clasificar en cualquiera de los dos grupos.

Para definir con cuál de las dos metodologías se trabaja los impactos acumulativos, se debe analizar:

- El tipo de impacto: aditivo, interactivo, indirecto o secundario o combinado.
- La disponibilidad y calidad de la información.
- La disponibilidad de recursos (personal, tiempo y dinero).

Dentro de las dos (2) metodologías, se identifican ocho (8) métodos o herramientas de análisis de acuerdo con los criterios anteriores: cuatro (4) en los que identifican los impactos acumulativos; dos (2) en los que se realizan la evaluación técnica para determinar la magnitud del impacto, basados en su intensidad; y dos (2) que se clasifican en cualquiera de las dos (2) metodologías, como se muestra en la Figura 2-34.



**Figura 2-34. Métodos y herramientas para la evaluación de impactos acumulativos.**

*Fuente: SAG, 2024*

En la práctica, como se puede observar en la Figura 2-34, los diferentes métodos se pueden combinar, ya que unos identifican cómo y dónde ocurrirán los impactos, otros evalúan los impactos y algunos son útiles para ambos fines.

Para la evaluación de los impactos acumulativos, se siguieron las siguientes fases:

- Estudio de alcance (SCOPING).
  - Identificación de los Componentes Ambientales de Valor (VEC's por sus siglas en ingles) que serán afectados por el proyecto Interconexión Carreiles a 230 mil voltios, lo cual se realizó a través de un panel de expertos, información primaria obtenida durante la caracterización, los espacios de participación y socialización con comunidades e impactos identificados en el EIA. Los VEC's se pueden definir como los elementos del ambiente que reciben los efectos que causan las diferentes acciones en el territorio, que pueden ser recursos, ecosistemas, comunidades, entre otros.
  - Caracterizar las condiciones actuales de los VEC's seleccionados.
  - Identificar los proyectos o actividades (pasadas, actuales y futuras propuestos) que podría afectar los VEC's seleccionados.
  - Definir la escala espacial y temporal de los VEC's.
  - Identificar la significancia de los impactos acumulativos sobre los VEC's seleccionados, con base en la formulación de una hipótesis sobre el tipo de cambio que puede ocurrir, funcional o estructural.
  - Evaluación de las consecuencias ambientales y medidas de manejo.

A continuación, se describen los objetivos y las actividades que se siguieron en estas fases.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Estudio de alcance y enfoque (SCOPING)

En una primera fase de un estudio de impactos acumulativos se recomienda hacer un estudio de alcance y enfoque.

Por definición, el SCOPING es un proceso consultivo para la identificación y posible reducción del número de aspectos a ser examinados, para seleccionar sólo los aspectos más importantes, que son pertinentes en la evaluación.

El propósito del estudio de alcance es determinar:

- Si los recursos, ecosistemas y comunidades han sido o pueden ser afectadas por acciones pasadas o futuras.
- Si otras empresas o el nivel público tienen planeadas otras acciones que puedan afectar los recursos en el futuro.

Para este estudio, esta fase se dividió en cuatro (4) actividades:

- Identificar los Componentes Valiosos del Ecosistema (VEC's) en el corredor de la nueva línea de transmisión que pueden verse afectados por la construcción y operación del proyecto y los proyectos existentes y futuros.
- Establecer el alcance geográfico para el análisis de los VEC's seleccionados.
- Establecer el marco de tiempo para el análisis.
- Identificar otras acciones que afectan a los VEC's seleccionados.

- Descripción de los VEC's

Describir los VEC's dentro de un estudio de impactos acumulativos no es muy diferente a describir la afectación del ambiente por un proyecto específico, sin embargo, el análisis y los datos de soporte deben ser extendidos en términos de la geografía, el tiempo y las interacciones potenciales para los recursos o los sistemas.

Se debe procurar identificar y caracterizar todas las acciones que puedan afectar los VEC's seleccionados.

Las actividades que se ejecutaron en el desarrollo de esta fase fueron:

- Revisión de información. En este paso se consultó y extractó la información necesaria para caracterizar el estado actual de los VEC's seleccionados.

El parámetro básico para utilizar la información fue la existencia de ella en varios momentos, lo que permitiría analizar las tendencias o cambios ocurridos en el ambiente a través del tiempo.

- Caracterizar las presiones que afectan estos recursos, ecosistemas, comunidades y su relación con los umbrales reguladores, definidos por las autoridades

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

ambientales competentes o la legislación ambiental vigente. Este paso comprendió básicamente un análisis de las tendencias de evolución de los componentes del ambiente caracterizados en el paso anterior.

- Definir una condición de la línea base para los recursos, los ecosistemas y las comunidades. Esta es la compilación de los pasos anteriores.
- Determinación de consecuencias ambientales y planes de manejo

En esta última fase se establecieron las consecuencias que se pueden generar en los VEC's seleccionados. Para ello, se realizaron las siguientes actividades:

- Identificar las relaciones importantes entre las actividades, los recursos humanos, los ecosistemas y las comunidades.
- Determinar la magnitud y la significación de los cambios en los VEC's, a través de formular hipótesis sobre el tipo de cambio que puede ocurrir, funcional o estructural.
- Identificar y diseñar los programas de manejo para reducir al mínimo, o para atenuar los cambios en los VEC's.
- Elaborar los programas de seguimiento y monitoreo correspondientes.

#### **2.3.6.4 Evaluación económica ambiental**

El concepto de valor, entendido como la importancia que los individuos le otorgan a los bienes y/o servicios que adquieren, es de interés para los economistas pues a partir de éste es posible encontrar un comportamiento racional en las decisiones de consumo. Se espera que los bienes y servicios más valorados sean los que generan mayor satisfacción (utilidad), es decir, tienen una influencia más alta en el bienestar de las personas. Por esta razón, desde el sector público y privado es necesario incluir en la evaluación de proyectos, los análisis económicos que den cuenta del valor que tienen los servicios ambientales para sustentar la toma de decisiones, con el fin de mejorar el bienestar social e impulsar los procesos de desarrollo sostenible.

En este sentido, según Dixon y Pagliola, 1998, la Evaluación Económica Ambiental (EEA) tiene como objetivo cuantificar a través de diversas metodologías, los cambios ambientales en el territorio que generan alteraciones en el bienestar social, y analizar la relación entre los beneficios y los costos ambientales totales del proyecto. Este proceso se realiza partiendo del cambio en la calidad ambiental que generará el proyecto y su efecto sobre el bienestar de las comunidades que perciben directamente las afectaciones; para esto, es necesaria la recolección de información técnica y económica para modelizar y adelantar una estrategia de valoración económica ambiental en la zona antes de que inicie el proyecto. Los principales problemas que surgen a la hora de hacer la valoración económica de los servicios ambientales están relacionados con la condición de propiedad pública de muchos de estos elementos y con que algunos beneficios asociados a su consumo como bien intangible no son comercializables, aun cuando exista una voluntad de pago (Espinal, 2010). Por lo tanto, la EEA se ha convertido en una herramienta para la toma de decisiones

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

sobre la viabilidad de los proyectos apoyando la función del Estado como garante de la conservación de los recursos naturales.

Los proyectos de infraestructura, como los de generación y transmisión de energía, traen consigo cambios positivos y negativos en las condiciones físicas, bióticas, socioeconómicas y de paisaje de los territorios; por lo tanto, es importante determinar si los habitantes de las comunidades que perciben directamente los efectos consideran que los proyectos contribuyen a su desarrollo y generan bienestar social. Para responder a estas preguntas, es necesario la utilización de técnicas de valoración económica que permitan calcular el Valor Económico Total (VET)<sup>221</sup> de los impactos, teniendo en cuenta no solo el valor por el uso y disfrute directo de los servicios ecosistémicos asociados a los elementos del territorio que puedan ser alterados, sino también, los valores de no uso derivados de los mismos.

De esta manera, el ejercicio de valoración económica se realizó siguiendo los lineamientos metodológicos del Documento “Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental”<sup>222</sup> del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), adoptado mediante Resolución 1669 del 15 de agosto de 2017, del Documento borrador “Manual Técnico para el uso de herramientas económicas en las diferentes fases de licenciamiento ambiental”<sup>223</sup> de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y del Manual Técnico de “Evaluación de impactos ambientales en proyectos” del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Universidad de los Andes<sup>224</sup>. A continuación, se describe de forma general el procedimiento a seguir durante la Evaluación Económica Ambiental.

- Selección de impactos relevantes

Según la metodología, técnicamente no es viable aplicar el análisis de valoración económica a todos los impactos identificados en los diferentes componentes ambientales (Abiótico, Biótico y Socioeconómico). Se deben valorar aquellos impactos que resultan más relevantes de acuerdo con la evaluación cualitativa, asumiendo que los demás impactos generan efectos residuales que pueden controlarse fácilmente.

<sup>221</sup> El Valor Económico Total (VET) es una medida de los beneficios de preservar el medio ambiente en su estado natural. Está compuesto por el valor de uso y el valor de no uso. El valor de uso se refiere a los beneficios que se derivan del uso de un recurso para el cual, generalmente existe un mercado. Se puede desglosar en el valor de uso directo, valor de uso indirecto y valor de opción (opción de uso futuro). El valor de no uso está compuesto por el valor de existencia, que expresa el valor de un recurso sólo por saber que éste existe y será conservado, y el valor de legado o herencia relacionado con dejar para el disfrute de los herederos los ambientes naturales, así como las tradiciones culturales que se construyen a su alrededor y por la existencia de un espacio natural o un territorio específico.

<sup>222</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>223</sup> Autoridad Nacional De Licencias Ambientales – ANLA. Manual técnico para el uso de herramientas económicas en las diferentes fases del licenciamiento ambiental. Documento Borrador. 2015. p 35

<sup>224</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Universidad de los Andes. (2010). Manual Técnico: Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Proyectos.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	 Rev. No.: 3    2024-08-09
---	--	--

Al respecto, el Documento Técnico para la Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Megaproyectos<sup>225</sup> indica que “es importante priorizar los estudios que se deben desarrollar sobre los impactos más significativos, que resulten de la jerarquización de estos.” En esta misma línea, los “Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.”<sup>226</sup> propone que “teniendo en cuenta las múltiples metodologías de evaluación de impacto ambiental, se consideran relevantes los impactos que resulten clasificados en los tres niveles que revistan mayor gravedad (para los impactos de carácter negativo) o mayor beneficio (en el caso de los impactos positivos) posterior al análisis del proyecto y en comparación con su estado inicial o línea base”. Adicionalmente, el documento “Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental” resalta sobre la identificación de impactos relevantes que:

“Los EIA identifican y califican todos los impactos, tanto directos como indirectos, acumulativos y sinérgicos que estén asociados con la implementación del proyecto. Este conjunto constituye el insumo para definir los impactos ambientales significativos del proyecto, pues se consideran como tales, todos aquellos impactos que se encuentren dentro de las tres categorías de mayor significancia establecidas en la valoración de impactos del EIA. Los impactos significativos que no son internalizados son los que deben ser incluidos en los análisis económicos” (MADS y ANLA, 2017: 42).

De acuerdo con lo anterior, la primera aproximación a la selección de los impactos a valorar económicamente es la Evaluación Ambiental, considerando que aquellos impactos que obtienen mayor calificación son los que generan afectaciones significativas y relevantes sobre el ecosistema y por ende son susceptibles a ser incluidos dentro del análisis de valoración económica. En el caso específico de este proyecto, se consideraron para la valoración económica los impactos negativos y positivos con Calificaciones de Importancia Ambiental igual o superior a “Moderado”. Por otro lado, no fueron considerados dentro de la evaluación económica los impactos calificados como irrelevantes, ya que se espera que las medidas de manejo definidas controlen o prevengan el impacto en su totalidad, es decir, los impactos calificados en este nivel de significación no producen efectos residuales en el ecosistema.

- Identificación de los bienes y servicios ecosistémicos relacionados con los impactos y Cuantificación del cambio biofísico

Un ecosistema es un “sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico donde se relacionan. Es decir, es una compleja dinámica de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente no viviente interactuando como una unidad funcional”<sup>227</sup>. Desde este punto de vista, los beneficios directos e indirectos que los

<sup>225</sup> *Ibíd.*

<sup>226</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>227</sup> Millennium Ecosystem Assessment – MEA (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis Washington, DC. Island Press; 2005.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

seres humanos reciben de los ecosistemas (bosques naturales, páramos, humedales, playas marinas, arrecifes de coral, entre otros), se conocen como Servicios Ecosistémicos (SSEE)<sup>228</sup>.

Debido a que las personas se benefician de los SSEE dependiendo de su uso y de la utilidad que les representan, se pueden concluir que tienen valor y, por ende, un cambio en éstos, generado por un proyecto de infraestructura y desarrollo, afecta todos los componentes del bienestar humano. En este sentido, un paso importante dentro del procedimiento de Evaluación Económica Ambiental es identificar a partir de la información obtenida en la caracterización ambiental, los Servicios Ecosistémicos que pueden ser afectados por el proyecto y que influyen de manera positiva o negativa en el bienestar de la sociedad.

Para relacionar las afectaciones sobre los SSEE con el ejercicio de valoración económica, es necesario cuantificar en unidades físicas el cambio temporal y espacial que el proyecto evaluado genera sobre los SSEE, procedimiento conocido como cuantificación del cambio biofísico. Para realizar esta cuantificación es necesario definir el Indicador Línea Base con el que se medirán los cambios de los SSEE partiendo de una condición inicial en comparación con el escenario con proyecto. Es importante resaltar que este procedimiento se realiza para todos los impactos relevantes y significativos identificados en el estudio.

- Impactos Internalizables

Los impactos internalizables son aquellos impactos ambientales negativos generados por los proyectos, obras o actividades, que pueden ser controlados en su totalidad por las medidas de prevención o corrección contempladas en el Plan de Manejo Ambiental (PMA), y por tanto, el valor económico de dichos impactos se puede representar a partir del valor de las inversiones en medidas de prevención o corrección<sup>229</sup>. No obstante, para que esto sea cierto, es necesario garantizar como mínimo que: i) sea posible predecir con exactitud el tiempo y el espacio del cambio biofísico, ii) exista una alta certeza y exactitud en las medidas de prevención o corrección y iii) los programas o medidas contemplados tienen una efectividad cercana al 100%.

Si se asegura que el impacto no genera efectos residuales en el ecosistema, éste se excluye del ejercicio de cuantificación monetaria y se procede a realizar el respectivo análisis de internalización como se indica en el siguiente apartado. En caso de que alguna de las tres condiciones enunciadas no se cumpla, el impacto se incluye dentro de los impactos No Internalizables y se procede a la cuantificación monetaria aplicando una técnica de valoración económica acorde con las características y magnitud de este.

- Análisis de internalización

El análisis de internalización se realizó a partir de la cuantificación biofísica de los cambios en los SSEE con los que se relaciona cada impacto y cómo se espera que las medidas de manejo propuestas puedan prevenir, controlar o corregir en su totalidad los efectos sobre

<sup>228</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>229</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Universidad de los Andes. (2010). Manual Técnico: Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Proyectos.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

el ecosistema. Puesto que este análisis asume el correcto desarrollo del PMA del proyecto, es necesario identificar los programas, obras o actividades de éste que mejor se ajustan para garantizar la prevención, corrección o control del impacto. En todos los casos, es necesario definir y cuantificar los indicadores de efectividad de cada medida de manejo, para establecer objetivamente si las afectaciones sobre el ecosistema son internalizadas en un 100%; si esto no ocurre, el impacto es excluido del análisis de internalización y se considera como un impacto valorado económicamente.

Ahora bien, si se demuestra que los impactos son efectivamente internalizados, el siguiente paso en el análisis consiste en estimar los costos ambientales anuales. Para esto, se deben presentar los costos de cada medida de manejo, con temporalidad anual y con un horizonte de tiempo coherente con la presencia del impacto, indicando de forma detallada los rubros más representativos de la medida utilizada para la aproximación a la cuantificación económica del impacto. En el análisis se adopta la propuesta del Grupo de Valoración Económica de la ANLA del año 2017<sup>230</sup>, la cual es una modificación al modelo de internalización de impactos propuesto por Wang y Li en el año 2010<sup>231</sup>, en el cual los costos ambientales totales involucran el valor del consumo de los recursos ambientales y las inversiones para el mantenimiento de la calidad ambiental y que se representa en la siguiente ecuación:

$$EC_i = CT_i + CO_i + CP_i$$

Dónde:

- $EC_i$  : son los costos ambientales totales en el año i.
- $CT_i$  : son los costos de transacción en el año i, que incluye el valor de los impuestos, tasas, tarifas y precios de mercado que la empresa paga por el uso del servicio ambiental
- $CO_i$  : son los costos operativos en el año i, es decir, la inversión que realiza la empresa para mantener la calidad ambiental y que incluye todos los pagos por control de la contaminación (adquisición, funcionamiento y mantenimiento de equipo de tratamiento y monitoreo, gastos en manejo ambiental, gastos en restauración, siembras, cerramientos, entre otros). Esta información puede corresponder a los costos de las actividades contempladas en las medidas de manejo ambiental para corrección y prevención.
- $CP_i$  : son los costos de personal en el año i, que corresponde a los costos de personal requerido para la implementación de cada medida.

<sup>230</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>231</sup> Wang, Y. y Li, X. (2010). The models for internalization of environmental cost in Tech-Eco Assessment. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Innovation & Management. pp 311-314. En: [http://www.pucsp.br/icim/ingles/downloads/papers\\_2010/part\\_3/The%20Models%20for%20Internalization%20of%20Environmental%20Costs.pdf](http://www.pucsp.br/icim/ingles/downloads/papers_2010/part_3/The%20Models%20for%20Internalization%20of%20Environmental%20Costs.pdf)

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

El Valor Total Internalizado (VTI) se obtuvo descontando a Valor Presente Neto (VPN) el flujo de internalización, construido a partir de la proyección de los costos asociados a la implementación de las medidas de manejo para cada impacto en un horizonte de tiempo, utilizando una Tasa de Descuento para Licenciamiento Ambiental (TAD), que sea correspondiente con la máxima temporalidad de los impactos ambientales generados por el proyecto y que en este caso corresponde a la tasa de largo plazo (mayor a 21 años), del 2% tal como sugiere el documento “Guía para la definición de la Tasa de Descuento: Aspectos relevantes en el marco del Licenciamiento Ambiental en Colombia”, publicado por la ANLA en el año 2018 y según se muestra en la siguiente ecuación:

$$VTI = \sum_{i=0}^n \frac{EC_i}{(1+r)^i}$$

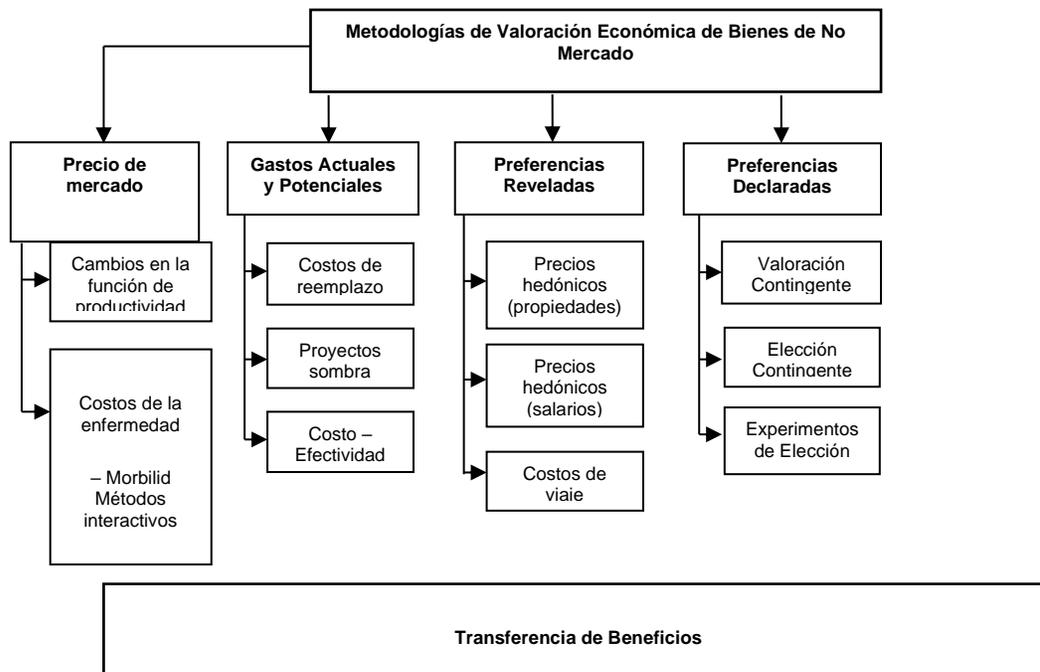
Dónde:

- $EC_i$  : son los costos ambientales totales en el año  $i$ .
- $r$  : es la tasa social de descuento
- $i$  : es el indicador del año

Después de realizar el procedimiento descrito anteriormente, es posible mostrar si el impacto es internalizable o si debe evaluarse económicamente. La correcta definición de la cuantificación biofísica como la propuesta de estimación del valor económico de cada uno de los impactos no internalizables, será crucial para los análisis ex post; es decir, en la aplicación del seguimiento y control que contempla el proceso de Licenciamiento Ambiental en Colombia.

- Impactos No Internalizables o Valorados Económicamente

Los impactos que no son internalizables mediante las estrategias de manejo, es decir, aquellos que generan efectos residuales en el ecosistema, son los impactos que se someten al proceso de valoración económica. Para estos impactos, al igual que en el caso de los impactos Internalizables, es necesario asociar los SSEE que resultan afectados y definir el indicador de Línea Base que permita la cuantificación biofísica del cambio en los recursos ambientales y naturales generados por el proyecto. La elección del método adecuado para la valoración del impacto requiere evaluar las alternativas metodológicas disponibles y aplicar aquella que de manera sustentada se considere la más adecuada y consistente, de acuerdo con las necesidades. De manera general, se recomiendan las metodologías de valoración económica por medio de precios de mercado, gastos actuales y potenciales, y aquellas desarrolladas bajo el enfoque de preferencias reveladas y preferencias declaradas (ver Figura 2-35).



**Figura 2-35. Metodologías para la valoración económica de impactos.**

*Fuente: SAG, 2024*

En el estudio se entienden como métodos indirectos aquellos que se basan en información secundaria o en datos de mercados paralelos o sustitutos para estimar el valor económico del servicio en cuestión, como son las técnicas basadas en Precios de Mercado y en Gastos Actuales y Potenciales. Dentro de este ejercicio se contempla, además, el uso de los métodos de Transferencias de Beneficios, que consiste en extrapolar los resultados de un ejercicio de valoración siempre y cuando las condiciones del contexto y objeto de estudio sean similares. A continuación, se presenta una descripción general de los métodos de valoración económica que fueron aplicados en la evaluación cuantitativa de los impactos no internalizables (Tabla 2-104). Esto, tomando como base los lineamientos presentados por la ANLA (2017). En el ejercicio de valoración económica (Capítulo 8.3 Evaluación Económica Ambiental) se complementa esta descripción explicando, además, las variables y supuestos en cada caso.

**Tabla 2-104. Relación de impactos y métodos aplicados en la valoración económica.**

Clasificación	Impacto	Método
Costos	Alteración a la calidad del suelo	Costos de reemplazo
	Alteración a las comunidades de fauna terrestre	Precios de mercado + Transferencia de beneficios

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Clasificación	Impacto	Método
	Alteración en el uso socioeconómico del suelo	Cambios en la función de productividad
	Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	Transferencia de beneficios
	Alteración a ecosistemas y habitats terrestres, Alteración de la estructura ecológica del paisaje y Alteración a comunidades de flora	Precios de mercado + Transferencia de beneficios
	Alteración en la percepción visual del paisaje	Valoración Contingente
Beneficios	Alteración de las actividades económicas	Precios de mercado

*Fuente: SAG, 2024*

- Método de Precios de Mercado

Las metodologías de precios de mercados permiten estimar los valores económicos de los servicios de los ecosistemas que pueden ser comprados y vendidos en los mercados comerciales, y es utilizado para cuantificar los cambios de valor en la cantidad o calidad de un bien o servicio. Dentro de esta metodología se incluye la técnica de Cambios en la productividad, que consiste en medir los cambios físicos en la producción, debido a cambios ambientales, usando precios de mercado para los insumos y productos. Los resultados del análisis de cambios en la productividad deben darse en términos unitarios, con el fin de realizar adecuadamente el cálculo del valor económico de la afectación. Teniendo en cuenta la definición, y aún más, la intención de aplicar el término de Valor económico total (VET), la aplicación del método de Cambios en la Productividad puede subestimar el valor real para la sociedad, pues no tiene en cuenta los valores de no uso inherentes a los bienes y servicios ecosistémicos afectados por el proyecto.

Uno de los aspectos relevantes en la implementación de precios de mercado es el supuesto de mercados competitivos y sin distorsiones. Cuando esto no sucede el precio de mercado difiere del precio económico y la brecha entre ambos se corresponde con la magnitud de la distorsión. Este planeamiento es especialmente relevante en el mercado laboral donde el salario refleja el costo privado para los empleadores, pero no el costo de oportunidad para la sociedad, el cual está en función de la situación de origen (empleado, desempleado) y del sector de procedencia de la mano de obra a contratar. En este caso, es pertinente entonces hacer un ajuste a los salarios de mercado para aproximarlos a sus precios sombra. Lo anterior siguiendo el planteamiento de Matamoros, Lamprea y Hernández (2019)<sup>232</sup>.

- Método basado en gastos

Estas metodologías permiten relacionar el valor económico de las afectaciones con los costos en que se incurre para reparar el daño generado por el proyecto sobre el ecosistema. El supuesto fundamental es que los costos de evitar daños o la sustitución de ecosistemas o servicios proporcionan estimaciones útiles del valor económico de éstos. Los enfoques

<sup>232</sup>Matamoros; M.; Lamprea; T.; Hernandez; G. (2019). *Estimación del precio cuenta de la mano de obra*. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/498.pdf>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

correspondientes a este tipo de metodologías son los Costos de reemplazo, Proyectos sombra y Costo – Efectividad.

El enfoque de Costos de Reemplazo parte del supuesto que es posible medir los costos en que se incurre para reemplazar los daños en activos generados por el proyecto; este costo puede ser interpretado como una estimación de los beneficios relacionados con las medidas diseñadas para prevenir el daño. Para aplicar este método, inicialmente deben definirse los daños o efectos que se producen en el ecosistema, para posteriormente cuantificar los cambios en unidades físicas, por ejemplo: áreas, especies de individuos, viviendas, entre otros; de esta forma, se puede establecer un costo de reemplazo. En caso de no tener un mercado definido, se recurre a mercados de bienes o servicios paralelos o sustitutos, con el fin de asignar un valor a la recuperación productiva del recurso intervenido.

- Transferencia de Beneficios y otros métodos de valoración

El método de Transferencia de Beneficios “se utiliza cuando se presentan casos de ausencia de información primaria o cuando el tiempo de análisis es muy reducido. En particular, se caracteriza por realizar un traspaso de valores de un bien estimado previamente a otro muy similar que se encuentra bajo otro contexto social, cultural y económico. Por lo anterior, la confiabilidad de sus resultados dependerá de la calidad de los estudios seleccionados para el análisis, la metodología utilizada para transferir el valor y el propósito de la evaluación” (ANLA, 2017)<sup>233</sup>.

Según Correa et al. (2011)<sup>234</sup>, en la literatura existen dos clasificaciones del Método: Transferencia de funciones y Transferencia de valores<sup>235</sup>. En el primer caso, se transfieren modelos estadísticos o funciones que precisan relaciones vectoriales en el sitio de estudio, mientras en el segundo se transfieren valores hallados en estudios previos, ya sea: i) directamente, cuando se tienen condiciones políticas y sociales similares, ii) utilizando un valor ajustado o calibrado de acuerdo a las características físicas y poblacionales del sitio en escenarios con menor similitud demográfica o iii) realizando promedios de varias investigaciones.

Debe tenerse en cuenta que, desde el punto de vista de la Economía del Bienestar, los impactos relevantes son los que tienen que ver con la afectación del bienestar que una actividad económica pueda generar en una población específica, en este caso la generada a los habitantes del área de influencia de un Proyecto, y que deberán buscarse valoraciones económicas en contextos y proyectos cercanos.

- Método de preferencias declaradas

<sup>233</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>234</sup> Correa, F., Osorio, J. y Patiño, B. (2011). Valoración económica del ruido: una aplicación a través del método de transferencia de beneficios. *Ensayos de Economía*, 21(39), 119-144.

<sup>235</sup> La transferencia de valor puede dividirse en dos: transferencia de un único estudio o de medidas de tendencia central (varios estudios). Esta última se produce cuando un único estudio no logra reflejar acertadamente las características socioeconómicas de la población objeto de análisis. En consecuencia, se utiliza el promedio de varios estudios para obtener una mejor aproximación a esas características.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

Entre los métodos de preferencias declaradas está el método de valoración contingente (MVC) que busca “estimar los cambios en el bienestar de las personas producto de cambios hipotéticos (contingentes) en un bien o servicio ecosistémico, mediante el uso de preguntas directas sobre la DAP por dichos SSEE. El MVC se realiza mediante encuestas, donde se crea un mercado hipotético el cual puede revelar la DAP o Disponibilidad a Aceptar - DAA de las personas por determinados bienes y/o servicios que no cuentan con un precio establecido en el mercado”<sup>236</sup>.

- Análisis Beneficio Costo (ABC)

El Análisis Beneficio Costo (ABC) permite realizar un balance entre los efectos ambientales positivos y negativos que genera un proyecto de infraestructura y desarrollo, con el objetivo de determinar si éste es conveniente para la sociedad en términos ambientales. El ABC toma las valoraciones económicas de las afectaciones sobre los flujos de servicios ecosistémicos de mayor relevancia; estas estimaciones son incluidas en un flujo de costos y beneficios con una distribución temporal acorde con la duración de cada efecto (impacto) y el horizonte temporal del proyecto (vida útil).

Los beneficios son un indicador de generación de bienestar en el ámbito social, ambiental o económico, que obtiene la población objetivo en el momento en que se ejecuta un proyecto y están relacionados con los impactos de naturaleza positiva. Los costos, por su parte, son el valor de los impactos negativos generados por el proyecto. Ambos tipos de impactos deben ser evaluados económicamente con las metodologías presentadas anteriormente.

Una vez consolidados los flujos de costos y beneficios del proyecto, estos deben descontarse utilizando la Tasa Social de Descuento (TSD) para obtener el Valor Presente Neto (VPN) de los beneficios versus los costos. Definir adecuadamente la TSD, conocida también como Tasa de Descuento Económica, permite asumir en la valoración un criterio de sostenibilidad, en el que los nuevos proyectos incluyen programas de compensación que tienen como objetivo recuperar el Stock de Capital afectado por el proyecto (Dixon y Pagiola, 1998)<sup>237</sup>. La TSD es uno de los parámetros más importantes en la VEI de proyectos, por ser el factor que permite comparar los beneficios y los costos económicos del proyecto en diferentes momentos del tiempo y con relación al mejor uso alternativo de esos recursos.

En Colombia, la ANLA (2018), sugiere que para los proyectos objeto de Licenciamiento Ambiental se utilice una TAD que sea correspondiente con la temporalidad de los impactos ambientales generados por el proyecto. De esta forma, la TAD puede tomar tres valores: 5% para los impactos de corta duración (entre 1 y 10 años), 3% para una duración de mediano plazo (entre 11 y 20 años) y 2% para los impactos que se manifiestan en el largo plazo (mayor a 21 años). Estos datos son más apropiados al tratarse del Licenciamiento

<sup>236</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Autoridad Nacional De Licencias Ambientales (ANLA). (2017). Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades objeto de Licenciamiento Ambiental.

<sup>237</sup> Dixon, J. y Pagiola, S. (1998). Análisis Económico y Evaluación Ambiental, *Environmental Assessment Sourcebook Update*, Environmental Department The World Bank, número 23, pp. 1-17.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

ambiental de un proyecto de infraestructura, antes de recurrir a la Tasa Social de Descuento (TSD) del 12% propuesta por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) o del 8% como la indicada por el Banco Mundial.

El año base de la valoración económica, es el año 2024. Los flujos económicos serán deflactados a este año para estimar el valor presente neto (VPN). Luego, la proyección de los flujos inicia a partir del año 2024 (año en curso). Tener como año base el 2024 permite: i) actualizar los precios de años anteriores al cierre de este año por medio del IPC anual, ii) evitar incluir una variable de incertidumbre como lo es el IPC al cierre de 2024 y, iii) en los casos en que los precios de 2024 no estén disponibles, se toman los precios al cierre de 2023 como valores aproximados para construir el flujo futuro. Esto aplica tanto para los flujos económicos de los impactos internalizables como los no internalizables.

Un criterio de decisión en el ABC es la Relación Beneficio Costo (RBC). Los resultados del indicador RBC “muestran la relación de un proyecto, en términos del bienestar social que genera, lo cual se toma como criterio de la rentabilidad de cada alternativa desde un punto de vista social. Así, se dice que una RBC mayor a uno, significa que el proyecto genera resultados económicamente positivos para la sociedad” (Diakoulaki y Karangelis, 2007)<sup>238</sup>.

La RBC está definida como el cociente entre el VPN de los beneficios y el VPN de los costos, tal como se muestra en la ecuación. Los resultados de este indicador muestran la relación de un proyecto en términos del bienestar social y ambiental que genera.

$$RBC = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}} = \frac{VPN_{Beneficios}}{VPN_{Costos}}$$

Donde:

- $B_i$ : son los beneficios ambientales del proyecto en el período  $i$  ;
- $C_i$  : son los costos ambientales del proyecto en el período  $i$ ;
- $r$  : es la Tasa Social de Descuento y el VPN es el Valor Presente Neto.
- $n$  : es el horizonte de tiempo;
- VPN es el Valor Presente Neto.

En la Tabla 2-105 se presenta la interpretación de los resultados de la RBC. Idealmente se espera que la RBC sea mayor que 1, para garantizar que los beneficios ambientales superan a los costos ambientales, es decir, se genera bienestar social. Es importante resaltar que en los análisis no se tiene en cuenta el factor inflacionario, debido a que, al hacer las estimaciones con una tasa social de descuento, se estaría haciendo un doble conteo.

<sup>238</sup> Diakoulaki, D. y Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenario for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp.716-727.

**Tabla 2-105. Interpretación indicador RBC.**

<b>Relación Beneficio Costo RBC</b>	<b>Interpretación</b>
<b>RBC &gt; 1</b>	El proyecto genera bienestar social, por lo tanto, se acepta el proyecto.
<b>RBC = 1</b>	El proyecto no presenta cambios en bienestar social, por lo tanto, es indiferente.
<b>RBC &lt; 1</b>	El proyecto empeora el bienestar social. Por lo tanto, no es recomendable su ejecución.

*Fuente: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) – Universidad de los Andes, 2010*

Otro criterio de decisión en el ABC es el Test de Valor Presente Neto (TVPN), en el cual se hace la diferencia entre los beneficios ambientales y los costos ambientales para obtener el valor monetario neto, en términos del VPN, del impacto económico total. La formulación se muestra en la siguiente ecuación:

$$TVPN = \sum_i \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} = \sum_i \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_i \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Dónde:

- $B_i$  : son los beneficios ambientales del proyecto en el período  $i$  ;
- $C_i$  : son los costos ambientales del proyecto en el período  $i$  ;
- $r$  : es la Tasa Social de Descuento y el VPN es el Valor Presente Neto.
- $n$  : es el horizonte de tiempo

En la Tabla 2-106 se presenta la interpretación de los resultados del test del VPN como un criterio de viabilidad y sostenibilidad en el contexto donde se emplaza el proyecto, permitiendo la mejor toma de decisiones. Se espera que el Test del VPN sea mayor que 0, para garantizar que los beneficios ambientales superan a los costos ambientales, es decir, se genera bienestar social. Es importante resaltar que en los análisis no se tiene en cuenta el factor inflacionario, debido a que, al hacer las estimaciones con una tasa social de descuento, se estaría haciendo un doble conteo.

**Tabla 2-106. Interpretación Test del VPN.**

<b>Test del VPN</b>	<b>Interpretación</b>
<b>TVPN &gt; 0</b>	Los beneficios del proyecto son mayores que sus costos, por lo tanto, se acepta el proyecto y se dice que este genera ganancias en bienestar social.
<b>TVPN = 0</b>	El proyecto no produce beneficios ni costos. Por lo tanto, no genera cambios sustanciales en el bienestar social.
<b>TVPN &lt; 0</b>	Los costos del proyecto son mayores a sus beneficios. Por tanto, se debe rechazar el proyecto, ya que provoca pérdidas en bienestar social.

*Fuente: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) – Universidad de los Andes, 2010*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

- Análisis de sensibilidad

En todo proyecto de infraestructura y desarrollo está presente un elemento de incertidumbre con respecto a los beneficios y costos futuros reales. El proceso de Valoración Económica de Impactos se realiza con base en estimativos de las condiciones económicas futuras, que no necesariamente reflejan lo que sucederá en realidad en los mercados (Sapag, 2001)<sup>239</sup>. Es precisamente este elemento de incertidumbre, el que dificulta la toma de decisiones por parte de los inversionistas y genera riesgos en el momento de asignar los recursos.

El análisis de sensibilidad es una herramienta útil para anticiparse a los posibles escenarios futuros, considerando cambios en las variables con mayor incertidumbre dentro de la VEI, como es el caso de los beneficios, los costos y la TAD (Diakoulaki y Karangelis, 2007)<sup>240</sup>. El objetivo de este análisis es verificar la robustez de los resultados de la VEI e investigar el efecto de los parámetros con mayor incertidumbre.

Lo que se busca en este análisis es cuantificar qué tan sensible es el flujo de beneficios y costos ante cambios como una disminución de los ingresos, un aumento inesperado de los costos, un cambio en la TAD, entre otros. Para hallar esta medida se calcula el VPN y la RBC con diferentes valores en las variables críticas y se identifica cuál es el parámetro que produce mayor sensibilidad sobre el VPN y, por ende, afecta más los criterios de aceptación o rechazo del proyecto.

La sensibilidad ( $S$ ) del proyecto se calcula como el cambio porcentual en el VPN ante cambios en las variables críticas, es decir:

$$S = \frac{VPN_1 - VPN_0}{VPN_0}$$

Dónde:

- $VPN_0$  : es el VPN antes del cambio; y
- $VPN_1$  : es el VPN luego del cambio.

A partir del análisis de sensibilidad, es posible determinar qué tan estables son los resultados de la Valoración Económica de Impactos frente a cambios en las proyecciones realizadas. Las variables que resulten con menor sensibilidad indican que los gestores del proyecto pueden tener mayor control sobre los efectos que estos pueden producir y ante cambios drásticos, las medidas de gestión pueden tener un mejor impacto.

<sup>239</sup> Sapag, N. (2001). *Evaluación de proyectos de inversión en la empresa*. Madrid, España: Fundación Española Ciencia y Tecnología.

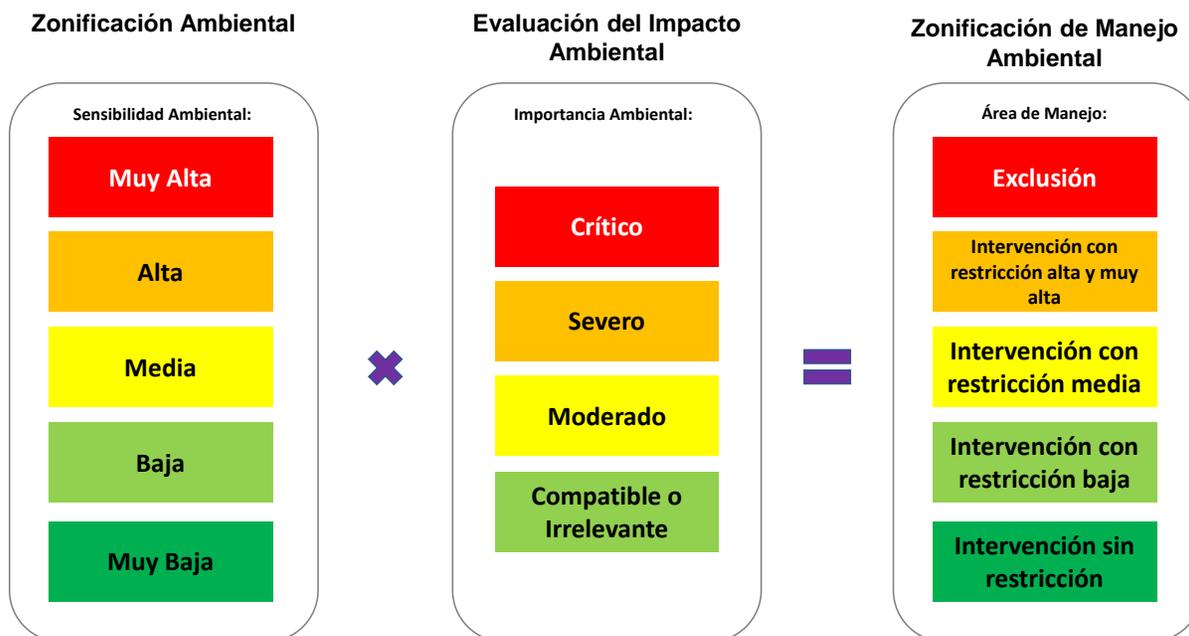
<sup>240</sup> Diakoulaki, D. y Karangelis, F. (2007). *Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenario for the power generation sector in Greece*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp.716-727.

### 2.3.7 Zonificación de manejo ambiental del proyecto

La metodología para la Zonificación de Manejo Ambiental (ZMA) sigue los lineamientos establecidos en los términos de referencia TdR-017 y en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales<sup>241</sup>.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Zonificación de Manejo Ambiental (ZMA) se elaboró a partir de los resultados de la Zonificación Ambiental General Final, en función de la sensibilidad ambiental, cuya metodología se describió en el numeral 2.3.4 del presente documento y de la evaluación de impactos asociados al desarrollo de las fases del Proyecto, descrita en el numeral 2.3.6.

El análisis de cada una de las unidades de manejo se realizó de manera cualitativa y cuantitativa, mediante el uso del software ArcGIS para obtener el mapa de zonificación de cada medio y el mapa de manejo ambiental final del área de influencia del proyecto. La Figura 2-36 esquematiza el proceso de la ZMA.



**Figura 2-36. Esquema metodológico Zonificación de Manejo Ambiental**

*Fuente: SAG, 2024*

Para el análisis geográfico de espacialización de impactos proveniente de la Evaluación Ambiental, se relacionó la descripción de las áreas en donde se estima la presencia de las interacciones (Impacto – Actividad) negativas, resaltando que éstas son un marco de referencia que podría ser ajustado en casos particulares del impacto o de la actividad; y que

<sup>241</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE; AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá. 2018

los impactos espacializados obedecen a las categorías estandarizadas evaluadas por el proyecto tenido en consideración el proceso de adaptación y adopción de las propuestas de mejora continua de Ministerio y ANLA<sup>242 243</sup>.

Operativamente, la integración de los resultados de zonificación ambiental y evaluación de impactos se realizó utilizando algebra de mapas del software ArcGIS. Para esto se establecieron categorías con sus respectivas calificaciones según cada uno de los respectivos análisis, así: sensibilidad para Zonificación Ambiental e Importancia del impacto para la Evaluación Ambiental. Las categorías definidas se presentan en la Tabla 2-107.

**Tabla 2-107. Categorías de definición para Zonificación de Manejo Ambiental**

Categoría de Zonificación Ambiental	Valor Categoría	Categoría de Evaluación Ambiental	Valor Categoría
Muy Alta	5	Crítico	5
Alta	4	Severo	4
Media	3	Moderado	3
Baja	2	Compatible o Irrelevante	2
Muy Baja	1		

*Fuente: SAG, 2024*

Las áreas de manejo obtenidas a partir del análisis del cruce entre las categorías de Zonificación Ambiental y de Evaluación de impactos se presentan en la Tabla 2-108 y se detallan en la Tabla 2-109 según las definiciones presentadas en los TdR-017.

Cabe señalar que, una vez definidas las áreas de manejo para cada impacto en relación con la zonificación ambiental final, se obtiene una serie de capas intermedias para cada medio. Para establecer la zonificación de manejo ambiental (ZMA) de los medios abiótico, biótico, socioeconómico y el componente de paisaje, se emplea el álgebra de mapas utilizando la función "Max()" (Máximos) de Python. Este proceso permite que los polígonos con la categoría de zonificación más alta prevalezcan, garantizando una gestión ambiental más efectiva y precisa.

<sup>242</sup> ANLA. Jerarquización, Estandarización y Zonificación de Impactos ambientales de trescientos Proyectos Licenciados ANLA. 2018.

<sup>243</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Listado de impactos Ambientales Específicos en el Marco del Licenciamiento Ambiental. Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana 2023.

**Tabla 2-108. Matriz de definición Áreas de manejo ambiental**

Importancia Ambiental		Crítico	Severo	Moderado	Compatible o Irrelevante
Zonificación Ambiental		5	4	3	2
Muy alta	5	Exclusión	Exclusión	Intervención con restricción alta y muy alta	Intervención con restricción media
Alta	4	Exclusión	Intervención con restricción alta y muy alta	Intervención con restricción alta y muy alta	Intervención con restricción media
Media	3	Intervención con restricción alta y muy alta	Intervención con restricción alta y muy alta	Intervención con restricción media	Intervención con restricción baja
Baja	2	Intervención con restricción media	Intervención con restricción media	Intervención con restricción baja	Intervención con restricción baja
Muy baja	1	Intervención con restricción media	Intervención con restricción baja	Intervención con restricción baja	Intervención sin restricción

*Fuente: SAG, 2024*

**Tabla 2-109. Categorías de Zonificación de Manejo Ambiental**

Categoría	Áreas de Manejo
Exclusión (EX)	<p><b>Áreas de exclusión (EX):</b> corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Para definir estas áreas se deben considerar criterios de exclusión tales como vulnerabilidad y funcionalidad ambiental y restricciones impuestas legalmente al uso del territorio.</p>
Intervención con restricción alta y muy alta (IRa)	<p><b>Áreas de intervención con restricción alta y muy alta (IRa):</b> Áreas donde se pueden desarrollar obras y actividades con la implementación de medidas de manejo de alto nivel de complejidad, con impacto económico alto y que requieren la obtención de permisos, concesiones o autorizaciones para el uso de los recursos naturales o el trámite de levantamiento de restricciones ambientales u otros.</p> <p>Se incluyen las áreas y trazados de proyectos de infraestructura, minería, hidroeléctricos; entre otros que se encuentran operando y/o que cuentan con licencia ambiental; toda vez que son áreas donde se puede establecer una coexistencia entre proyectos y actividades.</p>
Intervención con restricción media (IRm)	<p><b>Áreas de intervención con restricción media (IRm):</b> Áreas en las cuales se requerirá además de medidas de compensación o corrección con efectos en el largo plazo, de la implementación de acciones de control y protección en el mediano plazo o de restauración o corrección con efectos en el corto plazo.</p>

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Categoría	Áreas de Manejo
	Se incluye en estas zonas las áreas de infraestructura vial existente y proyectos de infraestructura con licencia ambiental que son condicionantes para que se pueda desarrollar el proyecto en estudio y por ende coexisten (subestaciones de salida o llegada, líneas de energía principales y/o derivaciones)
Intervención con restricción baja (IRb)	<b>Áreas de intervención con restricción baja (IRb):</b> corresponde a zonas que requieren de la implementación de acciones de protección y mitigación con efectos en el largo plazo o de restauración o corrección con efectos en el corto plazo.
Intervención sin restricción (I)	<b>Áreas de intervención (AI):</b> Corresponde a áreas donde se puede desarrollar el proyecto con manejo socioambiental, acorde con las actividades y fases de este

*Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.  
Adaptado por SAG, 2024*

Como resultado, se obtienen cuatro (4) capas para la Zonificación de Manejo Ambiental, que corresponde a la espacialización del tipo de manejo ambiental en el Área de Influencia para cada uno de los tres (3) medios y el componente de paisaje. También se generó una capa adicional de espacialización del manejo ambiental para las áreas con infraestructura existente y áreas de proyectos licenciados, asignándoles restricciones de intervención media, alta y muy alta.

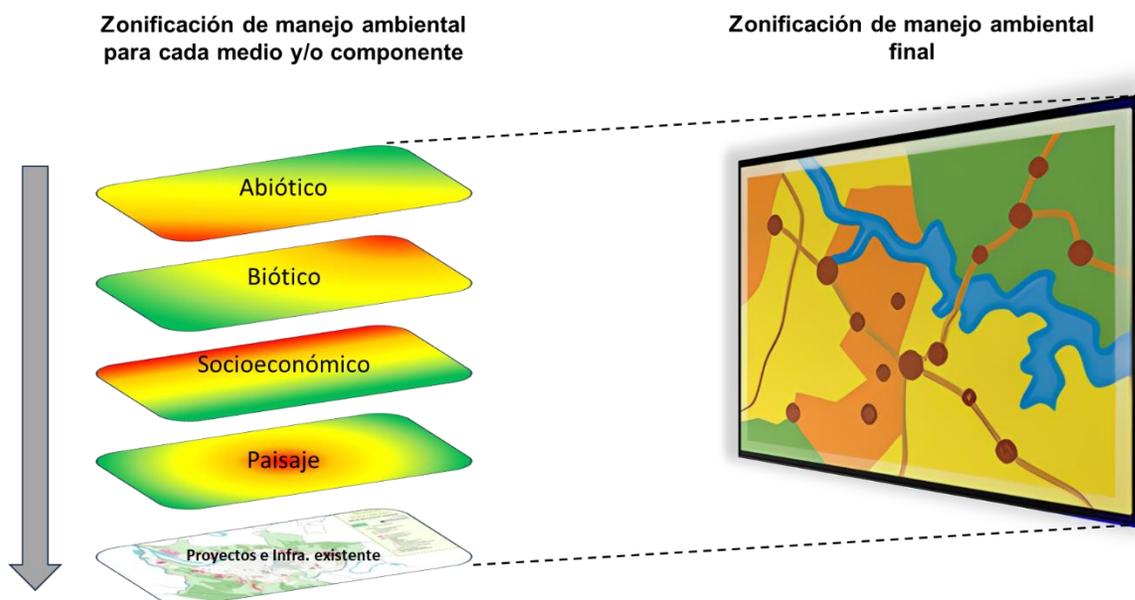
La ZMA final corresponde al geoprocesamiento espacial por algebra de mapas utilizando de la función Python de “max ()” (Máximos), para cada uno de los mapas intermedios de las áreas de manejo de los medios, el componente de paisaje y de infraestructura y proyectos existentes. Cabe anotar que por medio de esta metodología se conservan en el resultado final los polígonos de con una mayor valoración para la categorías de manejo (ver Figura 2-37).

Así mismo, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto-Ley 2811 de 1974 (artículo 83 - área de protección o conservación aferente), Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 Artículo 2.2.1.1.18.2. Protección y conservación de los bosques (antes Decreto 1449 del 27 de junio de 1977), Ley 1450 de 2011 (artículo 206 - rondas hídricas) y Decreto 2245 de 2017 (“Por la cual se adopta la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia”); se aplicó la categoría de manejo de “Exclusión” a la ZMA final, a toda la cartografía de cuerpos de agua naturales y artificiales delimitados en el área de influencia del proyecto una faja de retiro de 30m a cada lado de estos. En el caso de los sitios de nacimiento o manantial identificados se aplicó un retiro de 100m a la redonda. Y por último, para los lugares puntuales donde existen pozos profundos se aplicó un buffer de 30m a la redonda que representa la importancia asociada a esta infraestructura o sistema.

Por último, cabe destacar que en la normatividad legal vigente colombiana no es explícito, que las rondas hídricas o fajas de retiro constituyen en si áreas de “Exclusión” o prohibición

para el desarrollo de proyectos, sin embargo, por solicitud de la ANLA para este Estudio de Impacto Ambiental así se representan cartográficamente, señalando que en los sitios puntuales donde se requiere adelantar algún permiso por uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales, la categoría de manejo se establece como “Áreas de intervención con restricción alta y muy alta (IRa)”, constituyéndose en áreas de excepción a la exclusión.

De igual manera, es relevante mencionar que hay infraestructura existente (vías de acceso existentes) en el área de influencia que cruza las rondas hídricas o fajas de retiro establecidas, por lo tanto, corresponden a zonas de manejo con restricción media (IRm) debido a que son utilizadas por todos los actores del área de influencia y desde las medidas de manejo propuestas por el proyecto se pueden controlar, prevenir y minimizar los impactos que pueda ocasionar el proyecto por su uso compartido. Se resalta que por la naturaleza de estos accesos y su estado actual no se requiere de la solicitud de ningún permiso por aprovechamiento y/o uso de recursos naturales y corresponden áreas ya intervenidas previa la entrada del proyecto.



**Figura 2-37. Resultado Zonificación de Manejo Ambiental.**

*Fuente: ArcGIS server, adaptado por SAG, 2024*

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

## 2.3.8 Planes y programas

### 2.3.8.1 Plan de manejo ambiental

#### 2.3.8.1.1 Programas de Manejo Ambiental

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de la evaluación ambiental del proyecto, se procedió a la formulación de los programas de manejo, conformados por las acciones, medidas y actividades necesarias para la prevención, mitigación, corrección y compensación de los posibles impactos asociados al proyecto, en sus diferentes fases.

En la formulación de los programas de manejo se tuvo en cuenta los aportes realizados por las comunidades, organizaciones sociales y ambientales, propietarios y autoridades del área de influencia del medio socioeconómico y del proyecto, en los procesos participativos desarrollados.

Para la formulación de los programas de manejo ambiental, se trabajó con un formato de ficha en el cual se precisan los objetivos, metas, impactos ambientales a manejar, tipo de medidas, fases del proyecto en las que se implementaría cada programa, área o cobertura espacial, acciones a ejecutar y la descripción de las mismas, obras a implementar, indicadores de cumplimiento y efectividad, personal requerido, cronograma de ejecución y costos estimados de implementación de cada programa. A continuación, se presenta el formato de ficha utilizado

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

- Formato de ficha de los programas de manejo ambiental

PROGRAMA DE MANEJO							
Medio:			<u>Nombre</u>				
Código:			<u>Subprograma:</u>				
CATEGORÍA ESTANDARIZADA DEL IMPACTO AL QUE RESPONDE							
OBJETIVO			METAS				
TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR							
Prevención		Mitigación		Corrección		Compensación	
LUGAR DE APLICACIÓN				POBLACIÓN BENEFICIADA			
ACTIVIDADES POR FASE							
FASE		ACTIVIDADES DEL PROYECTO QUE GENERAN EL IMPACTO			ACTIVIDADES DE MANEJO A DESARROLLAR		
A- Pre-constructiva							
B- Constructiva							



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



Rev. No.: 3

2024-08-09

PROGRAMA DE MANEJO				
<b>Medio:</b>		<u>Nombre</u>		
<b>Código:</b>		<u>Subprograma:</u>		
<b>C- Operativa y mantenimiento</b>				
<b>D- Desmantelamiento</b>				
ACTIVIDADES A DESARROLLAR				
MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS				
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN		PERSONAL REQUERIDO		
INDICADORES DE CUMPLIMIENTO				
Meta	Indicador/Fórmula	Periodicidad de evaluación	Registros de cumplimiento	Valor de cumplimiento del indicador
INDICADORES DE EFECTIVIDAD				



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



Rev. No.: 3

2024-08-09

PROGRAMA DE MANEJO				
Medio:		<u>Nombre</u>		
Código:		<u>Subprograma:</u>		
Meta	Indicador/Fórmula	Periodicidad de evaluación	Registros de cumplimiento	Valor de cumplimiento del indicador
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
COSTOS				

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

#### 2.3.8.1.2 Plan de Seguimiento y Monitoreo

El plan de seguimiento y monitoreo se constituye en una herramienta que permite verificar el estado de cumplimiento y efectividad de los programas propuestos en el Plan de Manejo Ambiental (PMA), analizar las tendencias de la calidad del medio en el que se desarrolla el proyecto y evaluar la magnitud real de las alteraciones como consecuencia del proyecto; lo que permite identificar la necesidad de ajustarlos, si se requiere, a las nuevas condiciones que se vayan presentando durante el desarrollo de las fases del proyecto, para alcanzar los objetivos definidos en cada uno de los programas planteados.

Al igual que para la formulación de los planes de manejo, se trabajó con dos (2) formatos de ficha en los cuales se consideró el seguimiento y monitoreo a los planes y programas y el seguimiento y monitoreo a la calidad del medio, en cumplimiento de lo establecido en los términos de referencia TdR-17 de 2018 y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018. A continuación, se presentan los formatos de fichas utilizados.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

- Formato de ficha para el seguimiento y monitoreo a los programas de manejo ambiental

<b>PROGRAMA DE SEGUIMIENTO</b>							
<b>Medio:</b>		<b><u>Nombre</u></b>					
<b>Código:</b>		<b><u>Subprograma:</u></b>					
<b>OBJETIVO</b>							
<b>FASE DE EJECUCIÓN</b>							
<b>Pre-constructiva</b>		<b>Constructiva</b>		<b>Operativa y mantenimiento</b>		<b>Desmantelamiento</b>	
<b>TIPO DE MEDIDA Y CONTROL</b>							
<b>Monitoreo</b>				<b>Seguimiento</b>			
<b>LUGAR DE APLICACIÓN</b>							
<b>PROGRAMAS ASOCIADOS DEL PMA</b>							
<b>IMPACTO(S) A MONITOREAR Y/O SUPERVISAR</b>				<b>PARÁMETRO(S) A MONITOREAR Y/O SUPERVISAR</b>			



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



Rev. No.: 3

2024-08-09

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO			
Medio:		<u>Nombre</u>	
Código:		<u>Subprograma:</u>	
PARÁMETRO(S) A MONITOREAR Y/O SUPERVISAR			
DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA, DURACIÓN O LAPSO	RESPONSABLE	INDICADOR(ES) A MONITOREAR O SUPERVISAR
OBLIGACIONES MÍNIMAS			
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN			
COSTOS			
EVIDENCIAS DEL CUMPLIMIENTO AMBIENTAL			

Fuente: SAG, 2024

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

- Formato de ficha para el seguimiento y monitoreo a la calidad del medio

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL MEDIO							
Medio:			Nombre				
Código:			Subprograma:				
OBJETIVO							
FASE DE EJECUCIÓN							
Pre-constructiva		Constructiva		Operativa y mantenimiento		Desmantelamiento	
TIPO DE MEDIDA Y CONTROL							
Monitoreo		Seguimiento					
SITIO DE MONITOREO O SEGUIMIENTO							
COMPONENTES AMBIENTALES A MONITOREAR:		PROGRAMAS ASOCIADOS DEL PMA QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DEL MEDIO			PROGRAMAS ASOCIADOS DEL PMA QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DEL MEDIO		
PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA MEDIR LA CALIDAD DEL MEDIO E INSTRUMENTOS NECESARIOS							

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL MEDIO			
Medio:		<u>Nombre</u>	
Código:		<u>Subprograma:</u>	
PERIODICIDAD Y DURACIÓN DEL MONITOREO			
DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA, DURACIÓN O LAPSO	INDICADOR(ES) A MONITOREAR O SUPERVISAR	
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO A LA CALIDAD DEL MEDIO			
INDICADORES	METAS	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN			
COSTOS			

Fuente: SAG, 2024

### 2.3.8.1.3 Plan de Gestión del Riesgo

El Plan de Gestión del Riesgo del proyecto, se estructuró a partir del análisis y valoración de los riesgos derivados de amenazas que puedan generarse por las actividades del proyecto o por situaciones externas que podrían alterar las condiciones normales de funcionamiento del proyecto, y generar consecuencias sobre el ambiente. Para tal fin, se aplicará el enfoque de procesos, planteado en la Política Nacional de Gestión del Riesgo a través de la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 2157 de 2017, fundamentados en el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres.

A continuación, se presenta una descripción más detallada de la metodología de los elementos que componen el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres.

- Valoración de la probabilidad

La calificación de las amenazas se realizó a partir de la probabilidad (semi cuantitativa) de ocurrencia durante las fases de operación del proyecto. Aunque se consultaron registros históricos de las amenazas objeto de análisis, no es posible, en algunos de los casos, asociar directamente la frecuencia temporal en dicho registro con la probabilidad de ocurrencia del evento (cuantitativa), ya que la información disponible se encuentra a escala municipal y existen factores no asociados al proyecto que pueden potenciar o minimizar la probabilidad de ocurrencia. En la Tabla 2-110 se presenta la escala de medición para las amenazas identificadas, partiendo de la posibilidad de ocurrencia.

**Tabla 2-110. Calificación de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas.**

Probabilidad del evento	Probabilidad de ocurrencia	Categoría	Puntaje
Improbable	Cuando puede suceder una vez cada cincuenta (50) años (1/50)	Muy Baja	1
Remota	Cuando puede suceder una vez cada veinticinco (25) años (1/25)	Baja	2
Ocasional	Cuando puede suceder una vez cada diez (10) años (1/10)	Media	3
Probable	Cuando puede suceder una vez cada cinco (5) años (1/5)	Alta	4
Frecuente	Cuando puede suceder una vez cada año durante la vida útil proyecto (o sea, una relación 1/1)	Muy Alta	5

*Fuente: SAG, 2024*

#### 2.3.8.1.3.1 Conocimiento del Riesgo

##### 2.3.8.1.3.1.1 Identificación, caracterización, análisis y evaluación de eventos amenazantes

###### 2.3.8.1.3.1.1.1 Recuento de histórico de eventos ocurridos

- Fuentes consultadas
  - Fuentes de información secundaria

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

Se estableció la relación de fuentes de consulta de información de carácter internacional, nacional, regional y local utilizadas para la definición del inventario de eventos, incluyendo, entre otras:

- Esquemas de Ordenamiento Municipal de los municipios de Fredonia y Jericó
- DESINVENTAR. Corresponde a Sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de todas las magnitudes, creado a partir de datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina
- Sistema de Información de Movimientos en Masa - SIMMA del Servicio geológico y otras.
- El catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano - SGC
- Sistema de información sobre incendios para gestión de recursos (FIRMS) de la NASA.
- Catálogo de Terridata, información de orden público.
- Fuentes de información secundaria.

Para la captura de información primaria se procederá de la siguiente manera.

- Efectuando visitas de reconocimiento a lo largo del trazado del proyecto con el propósito de identificar evidencias de campo acerca de la manifestación de eventos amenazantes
- Análisis general del histórico de eventos

A partir de los resultados obtenidos en la búsqueda y clasificación de histórico de evento ocurridos se presentará un análisis estadístico general de los mismos orientado a la definición de eventos predominantes y lugares de ocurrencia.

#### *2.3.8.1.3.1.1.2 Identificación y clasificación de eventos amenazantes*

A partir de los históricos de eventos, se identificaron y clasificaron las principales amenazas en tres categorías con base al origen o causas que las generan:

- Amenazas de origen natural son aquellas que pueden desencadenar riesgos directos e indirectos no previstos, que afecten al proyecto y generar consecuencias sobre el ambiente (medios abiótico, biótico y socioeconómico).
- Amenaza de origen antrópico ya sean intencionales o no intencionales, se refiere a las que puedan afectar al proyecto y generar consecuencias sobre el ambiente (medios abiótico, biótico y socioeconómico).
- Amenazas de origen socio-natural que puedan afectar el proyecto y generar consecuencias sobre el ambiente (medios abiótico, biótico y socioeconómico).

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3   2024-08-09

### 2.3.8.1.3.1.1.3 *Evaluación de la vulnerabilidad*

#### 2.3.8.1.3.1.1.3.1 *Áreas de afectación*

Se denomina área de afectación a aquellas sobre las cuales se estima que pueden extenderse los efectos de los eventos amenazantes que según la ocupación de estas puede verse reflejado en daños o pérdidas (materiales y/o humanas).

#### 2.3.8.1.3.1.1.3.2 *Elementos expuestos*

La evaluación de la vulnerabilidad se establece con base a la identificación de los elementos sensibles del proyecto y del ambiente que pueden verse afectados en un grado u otro por la materialización de las amenazas.

Los elementos sensibles se identifican a partir de la información obtenida en la línea base del área de influencia y la descripción técnica de las obras a construir; además lo anterior se evalúa considerando los siguientes aspectos, que enmarcan a los grupos o elementos que pueden verse expuestos:

- **Víctimas:** Se evalúa el número, tipo y gravedad de las víctimas, entre empleados, contratistas y comunidad en general, que pueden ser afectados por la acción de cualquier eventualidad, que presenta una gravedad relativa, la cual se clasifica de acuerdo con su grado de amenaza.
- **Daños ambientales:** Todos los componentes y elementos ambientales, sociales y culturales existentes en el área donde se localiza el proyecto, espacios donde las personas realizan sus actividades de trabajo u operación, que pueden verse afectados por la presencia de cualquier eventualidad.
- **Pérdidas materiales:** Se ven representadas en la destrucción y el deterioro de instalaciones, equipos, productos, materiales, infraestructura comunitaria, multas, indemnizaciones, atenciones médicas y demás, expuestos a una amenaza cualquiera. Así como las inversiones en las que se incurre por los costos de las operaciones del control de contingencias.

#### 2.3.8.1.3.1.1.3.3 *Factores de vulnerabilidad*

El grado relativo de sensibilidad de un sistema respecto a una amenaza determinada se define como vulnerabilidad. Los factores de vulnerabilidad dentro de un análisis de riesgos permiten determinar los efectos negativos que, sobre el escenario y zonas de posible impacto, puedan tener los eventos que se llegaran a presentar. Para efectos del análisis de riesgo durante las actividades en la Línea, se consideran los siguientes factores de vulnerabilidad:

- **Recurso humano (víctimas):** se refiere al número y clase de afectados (empleados directos, contratistas, operadores y comunidades y usuarios de la infraestructura); considera también el tipo y gravedad de las lesiones (vida y salud humana).
- **Recurso ambiental:** evalúa los impactos sobre cuerpos de agua, fauna, flora, aire, y suelos como consecuencia de la emergencia, considerando sus implicaciones en el

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

desarrollo de las actividades socioeconómicas derivadas del recurso (ganadería, agricultura, pesca, usos del agua o del suelo, y demás).

- **Recurso financiero:** pérdidas representadas en equipos, productos, costo de las operaciones de control de la emergencia, multas, indemnizaciones, y atención médica entre otros.

#### 2.3.8.1.3.1.1.4 *Identificación, caracterización, análisis y evaluación de escenarios de riesgo*

##### 2.3.8.1.3.1.1.4.1 *Establecimiento y jerarquización de los riesgos*

El riesgo está representado por la evaluación cualitativa de las amenazas existentes en un sistema, medidas en cuanto a la probabilidad o frecuencia de que se presente el evento que pueda generar un efecto adverso en un tiempo determinado y la gravedad relativa de sus consecuencias. De acuerdo con esta definición, el riesgo puede expresarse matemáticamente como el producto de la categorización de la probabilidad de ocurrencia (amenaza) por la calificación de la gravedad de las consecuencias (vulnerabilidad), así:

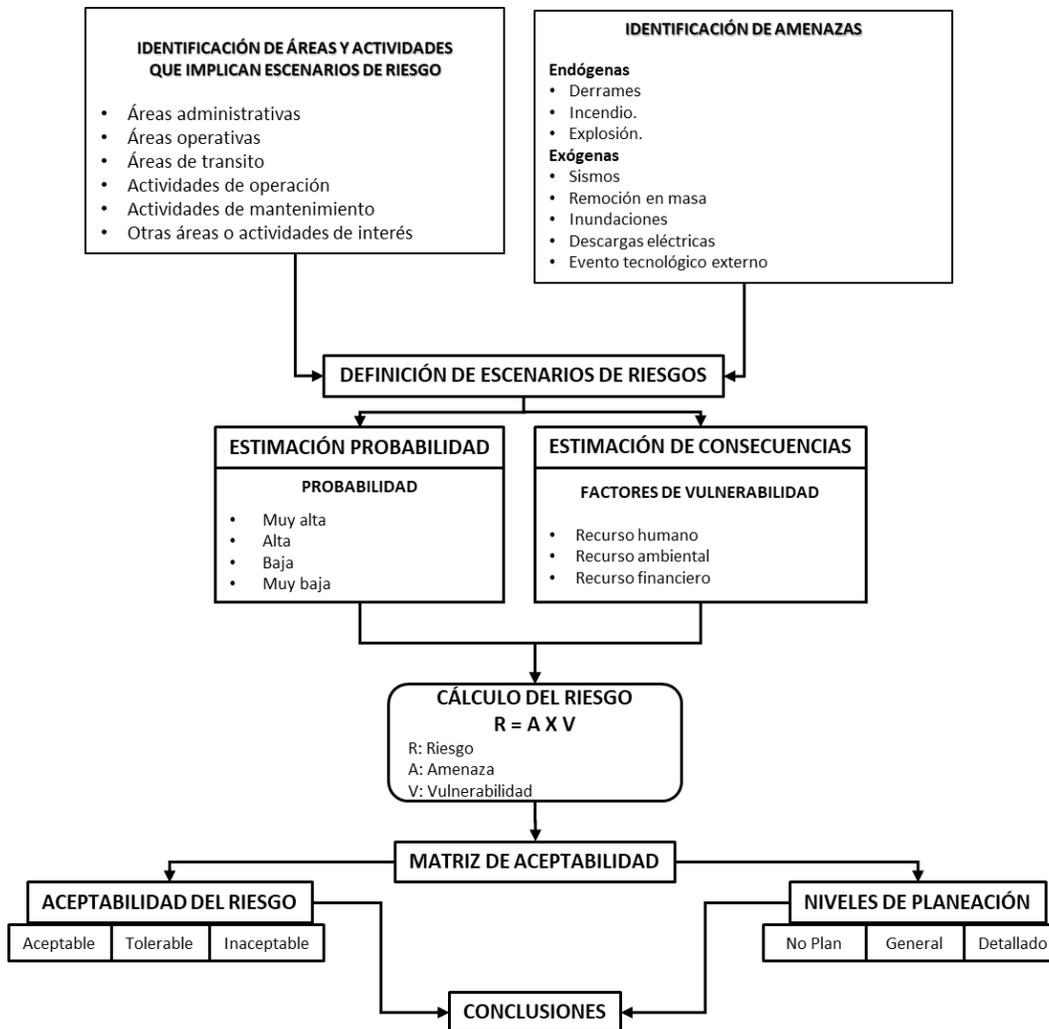
$$R = A \times V$$

Dónde:

- R = Calificación del valor del riesgo o nivel de riesgo.
- A = Categorización de la probabilidad de ocurrencia del evento (amenaza).
- V = Calificación de la gravedad o consecuencia del evento (vulnerabilidad).

De acuerdo con la definición presentada anteriormente se asignó un valor de riesgo a cada escenario para cada factor de vulnerabilidad. Este valor o rango de riesgo depende de la probabilidad de ocurrencia del evento y de la gravedad relativa. Para una fácil comprensión, estos valores numéricos se transforman en grupos que representan escalas diferentes de niveles de aceptabilidad.

La construcción de la matriz permite visualizar los riesgos para determinar la aceptabilidad de cada uno y establecer el nivel de planeación requerido para su prevención y atención.



**Figura 2-38. Metodología del análisis de riesgos.**

Fuente: SAG S.A. 2024

#### 2.3.8.1.3.1.1.4.2 Niveles de aceptabilidad del riesgo

- **Riesgo Alto (zona roja): Inaceptable.** Son riesgos de máxima prioridad; se requiere de acciones inmediatas. Deben ponerse en conocimiento del responsable del riesgo. Para medidas de tratamiento que impliquen inversión económica, se sugiere realizar estudios de Costo Beneficio. Se debe realizar seguimiento continuo a este tipo de riesgos.
- **Riesgo medio (zona amarilla): Tolerable.** Son riesgos de prioridad moderada, se requiere de acciones a mediano plazo. Deben ponerse en conocimiento del

responsable del riesgo. Se debe realizar seguimiento periódico a este tipo de riesgos.

- **Riesgo Bajo** (zona verde): **Aceptable**. Son riesgos de baja prioridad; no son necesarias acciones adicionales.

**Tabla 2-111. Matriz de jerarquización del riesgo.**

		Vulnerabilidad					
		Sin vulnerabilidad	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Amenaza		0	1	2	3	4	5
Muy alta	5	Sin riesgo	5	10	15	20	25
Alta	4	Sin riesgo	4	8	12	16	20
Media	3	Sin riesgo	3	6	9	12	15
Baja	2	Sin riesgo	2	4	6	8	10
Muy Baja	1	Sin riesgo	1	2	3	4	5
Sin amenaza	0	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo

Fuente: SAG, 2024

#### 2.3.8.1.3.1.1.4.3 Monitoreo del riesgo

Se formularon las propuestas de monitoreo del riesgo por evento amenazante analizando y acorde con la criticidad del mismo definida por su nivel de riesgo. A partir de las medidas de monitoreo propuestas se definirán los niveles de alertas.

#### 2.3.8.1.3.2 Medidas de reducción del Riesgo

##### 2.3.8.1.3.2.1 Medidas prospectivas

Corresponde al proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro (Ley 1523 de 2012).

##### 2.3.8.1.3.2.2 Medidas correctivas

La intervención correctiva tiene como objetivo reducir el nivel de riesgo existente en el territorio a través de acciones de mitigación en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por otra parte, las medidas de intervención prospectiva tienen la finalidad de

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo, realizando acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos, de este modo evitar un nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro.

#### *2.3.8.1.3.2.3 Medidas reactivas*

El objetivo del establecimiento de medidas reactivas es establecer las acciones y medidas inmediatas a realizar para enfrentar los desastres, ya sea por un peligro inminente o por la materialización del riesgo.

#### *2.3.8.1.3.2.4 Protección financiera*

De acuerdo con lo definido en la Ley 1523 de 2012 y en el decreto 2157 de 2017, los instrumentos del mercado financiero suscritos de manera anticipada para disponer de recursos económicos, una vez se materialice el riesgo, para cubrir el costo de los daños y la recuperación.

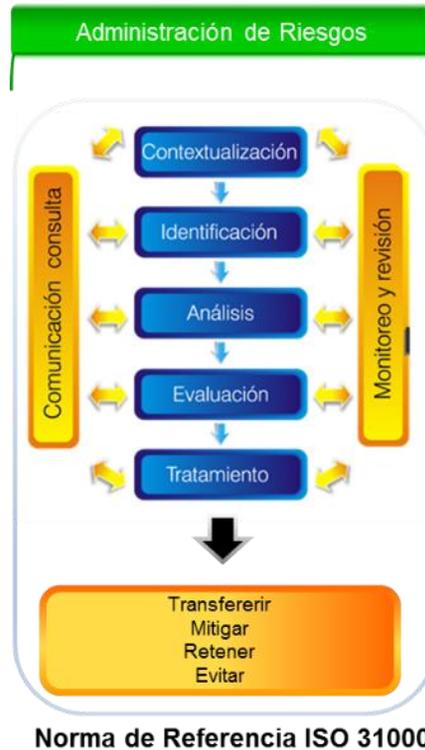
#### *2.3.8.1.3.3 Manejo del Desastre*

##### *2.3.8.1.3.3.1 Plan Estratégico*

Se establece a partir de considerar los resultados obtenidos del análisis de riesgos y medidas de reducción y mitigación: El plan incluye la definición de sus, la estructura para la atención de contingencias y las funciones, prioridades de protección, así como los diferentes niveles de respuesta ante la materialización de un riesgo. Consiste en la preparación para la respuesta y pretende habilitar al proyecto en las fases para la Gestión de Riesgos de Desastres. Para este fin se toma como referencia la Metodología Corporativa de Gestión de Riesgos de la empresa/proyecto y la norma ISO 31000<sup>244</sup>.

---

<sup>244</sup> Aclaremos que tomar como referencia la norma ISO 31000, NO implica que el proyecto deba adoptar cada uno de sus aspectos.



**Figura 2-39. Procesos de Gestión de Riesgos.**

*Fuente: ISO 31000*

Adicionalmente, según la Metodología de Estudios Ambientales de la ANLA, el componente estratégico “debe contener los resultados del análisis del riesgo y las diferentes medidas de reducción y mitigación, e involucrar la definición de los diferentes niveles de respuesta ante la materialización de un riesgo”.

#### 2.3.8.1.3.3.2 Plan Operativo

Corresponde a la herramienta que permite dirigir o encaminar la respuesta para que esta sea rápida, eficaz y coordinada en caso de materializarse un evento o amenaza. Este plan contiene las herramientas para la preparación y ejecución de la respuesta ante emergencias, y la implementación con comunidades y entes territoriales.

En consecuencia, se deja establecido que las medidas propuestas, así como la identificación y evaluación de los riesgos se actualizarán de acuerdo con los hallazgos a lo largo de la operación de la planta menor, incluyendo los criterios geotécnicos de construcción y operación, las situaciones registradas de orden geológico, climatológico, y los criterios de carácter social que puedan materializarse como un riesgo.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

En este sentido, la elaboración del Informe de Cumplimiento Ambiental durante la fase de operación del proyecto también servirá como una retroalimentación del Plan de Gestión del Riesgo.

El plan incluye los procedimientos básicos de la atención y respuesta a una contingencia y se definieron los mecanismos de notificación, organización y funcionamiento para la eventual activación del plan de contingencia. Además, este plan obedece a los objetivos de ejecución de la respuesta y recuperación.

#### 2.3.8.1.3.3 Plan Informático

El plan incluye los protocolos relacionados con los sistemas de manejo de información y de logística, para lograr una efectiva comunicación entre el personal de las brigadas, entidades de apoyo externo y la comunidad afectada; incluyendo datos como: i) teléfonos del personal involucrado en la respuesta ante una emergencia, tanto interno como externo, perteneciente a los diferentes consejos municipales y departamentales de gestión del riesgo; ii) planes de ayuda mutua; iii) listado de equipos disponibles para la atención de la emergencia, entre otros, requeridos a fin de que los planes estratégico y operativo sean eficientes.

#### 2.3.8.1.4 Plan de Desmantelamiento y Abandono

Para las áreas intervenidas de manera directa por el proyecto, se consideraron las siguientes medidas:

- Se presentó la relación de las actividades y obras necesarias para realizar el abandono, desmantelamiento y restauración de las obras temporales en las diferentes fases del proyecto, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
  - Desmantelamiento y retiro de estructuras implementadas para asegurar la estabilidad de la infraestructura u obras permanentes.
  - Medidas, obras y actividades encaminadas a prevenir posibles emisiones que puedan afectar los diferentes recursos naturales.
  - Desmantelamiento y abandono de vías de acceso (si no se considera útil para otros usuarios) y otras obras que no puedan ser desmanteladas completamente.
- Se presentó una propuesta de uso final del suelo en armonía con el medio circundante.
- Se señaló la relación de las medidas de manejo y reconfiguración morfológica que garantizan la estabilidad, el restablecimiento de la cobertura vegetal y la reconfiguración paisajística, según aplique y en concordancia con la propuesta del uso final del suelo.
- Se presentó la estrategia de información a las comunidades y autoridades del área de influencia de los componentes del medio socioeconómico, acerca de la finalización del proyecto y las medidas de manejo ambiental.

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

### 2.3.8.2 Otros planes y programas

#### 2.3.8.2.1 Plan de Inversión del 1%

De acuerdo con la legislación colombiana, específicamente el Decreto 2099 de 2016 y el Decreto 075 de 2017 por los cuales se modificó el Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con la inversión forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales para cualquier actividad, se ha establecido que el propietario de todo proyecto que requiera licencia ambiental e involucre en su ejecución el uso del agua, deberá destinar no menos de un 1% del total de la inversión para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica, de conformidad con lo dispuesto en el parágrafo primero del artículo 43 de la Ley 99 de 1993.

En este contexto y considerando que para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto Interconexión Carrieles a 230 mil voltios, no se requiere el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales superficiales o subterráneas, si bien está sujeto a la obtención de licencia ambiental, no se debe destinar el 1% del total de la inversión para las actividades de recuperación, conservación, preservación y vigilancia establecidas en la mencionada legislación colombiana.

#### 2.3.8.2.2 Plan de Compensación por Pérdida de Biodiversidad

Mediante este plan se compensarán los impactos residuales generados por el proyecto al componente biótico, implementando un total de 3,62 hectáreas de compensación, a través de acciones de restauración con enfoque en rehabilitación ecológica y preservación, en las alternativas que fueron priorizadas, denominadas: Hacienda Manantiales (Alternativa 1) y Hacienda Agrotúnez (Alternativa 2); de acuerdo con lo dispuesto en el Manual de Compensaciones Ambientales del Componente biótico, adoptado mediante la Resolución MADS 0256 del 22 de febrero de 2018.

Conforme con lo anterior, se propone la implementación de las acciones compensatorias por un periodo de seis (6) años, tiempo en el cual se busca fortalecer procesos que permitan dinamizar y agilizar la sucesión ecológica en estos predios, mediante el repoblamiento con individuos forestales nativos en 1,01 ha que estén localizadas sobre áreas que han sido degradadas debido al desarrollo de actividades productivas, de tal forma que se generen procesos que contribuyan al mejoramiento de atributos composicionales y estructurales de las coberturas a intervenir.

Así mismo, se propone el manejo y/o mitigación de los factores tensionantes identificados, que ejercen presiones, sobre 2,61 ha de áreas naturales bien conservadas localizadas en una matriz del paisaje que esté dominada por coberturas asociadas a sistemas productivos agropecuarios, salvaguardando así las dinámicas naturales de los sitios y propendiendo por el cuidado y mejora en las condiciones de hábitat. De esta manera, la compensación aquí propuesta, se concibe como un proceso integral que permitirá mejorar la calidad y cantidad en la prestación de servicios ecosistémicos y los recursos naturales en la vereda Puente Iglesias del municipio de Fredonia.

### 2.3.9 Sistemas de información geográfica

Para la captura y estructuración de la información geográfica se siguieron los lineamientos de la Resolución 2182 de 23 de diciembre de 2016 por la cual se modifica y consolida el modelo de almacenamiento geográfico.

Con relación a la captura de la información, para desarrollar una correcta representación cartográfica de la información que se represente mediante algún tipo de geometría (punto, línea o polígono, ráster) en la cartografía básica y temática, se siguieron los siguientes requerimientos:

- **Datum:** La información tiene como Datum el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS, asociado al elipsoide GRS80 (Global Reference System 1980), conforme lo establece la Resolución 68 de 2005 del IGAC. Los datos o información referidos al Datum Bogotá serán transformados a MAGNA-SIRGAS acorde con los parámetros establecidos por el IGAC, disponibles en su portal Web ([www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co) – Trámites y servicios – Servicios – Información geodésica).
- **Origen:** La información se debe presentar en el sistema de proyección cartográfico con un único origen, definido en la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020 del IGAC.
- **Altura:** Para esta variable se especificó si está referida al elipsoide GRS80 (altura elipsoidal) o si está medida a partir de la red de nivelación nacional (altura nivelada).
- **Precisión:** Para sobreponer, complementar y ajustar la información colectada en campo sobre cartografía en diferentes escalas, se cumplieron los siguientes criterios de precisión:

**Tabla 2-112. Escala de error permitido\*.**

Escala	Error máximo
1:2.000	0,5 m
1:10.000	2 m
1:25.000	5 m
1:100.000	20 m
1:500.000	30 m

\*Se refiere al error reportado después de ajustar las observaciones de campo mediante mínimos cuadrados

*Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018*

- **Escala de trabajo:** La escala de trabajo y almacenamiento de la información correspondió a la establecida en los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA) para proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Sobre el modelo de datos geográfico, la información geográfica fue almacenada y presentada de acuerdo con los modelos adoptados para la base de datos geográfica

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>	
		Rev. No.: 3    2024-08-09

institucional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA); los datos espaciales tienen la estructura que se define en la resolución 2182 de 2016.

La información correspondiente a cartografía básica fue almacenada según la estructura del modelo de datos geográficos establecido por el IGAC, y guarda consistencia con la información temática (vector o ráster) para la elaboración de los estudios ambientales.

En lo correspondiente a la información tipo ráster, las imágenes de sensores remotos utilizadas como insumo para la elaboración de cartografía y la caracterización ambiental, tuvo una resolución espacial acorde a la escala solicitada en los respectivos términos de referencia y el periodo de tiempo que transcurre entre la ocurrencia del fenómeno que describe y el momento en el que analiza la información no supera los tres (3) años. Esta información tiene el mismo sistema de coordenadas de la información vector (temática y base).

Para la presentación de la cartografía, ésta contiene los elementos que se mencionan a continuación:

- Localización político-administrativa del proyecto hasta el nivel municipal
- Fuente de información de la cartográfica básica
- Fuente de información de la cartográfica temática y datos relacionados
- Escala de trabajo y escala de presentación
- Fecha de elaboración del proyecto
- Norte
- Grilla de coordenadas
- Sistema de referencia
- Número del mapa
- Nombre de empresa solicitante
- Nombre de empresa consultora
- Entrega de la información geográfica y cartográfica

Se entregó como parte integral del documento del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la información geográfica y cartográfica del proyecto de la siguiente manera:

- Una (1) carpeta con los archivos geográficos (shapefile o gdb) de la cartografía base según el modelo de datos del IGAC y la cartografía temática según modelo de datos geográficos de la resolución 2182 de 2016. En esta carpeta se incluye un archivo Léame, con la información relevante (cambios, adiciones, justificaciones) en el diligenciamiento de la GDB.
- Una (1) carpeta con los insumos utilizados en la elaboración de la cartografía (imágenes de sensores remotos, planchas IGAC, planos, entre otros).

- Una (1) carpeta con los metadatos, utilizando la plantilla de Metadato dispuesta en la página Web de la ANLA, según lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 4611.
- Una (1) carpeta con los respectivos mapas en formato pdf.
- Una (1) carpeta con las plantillas, o simbología de las capas, utilizadas para la elaboración de cada uno de los mapas presentados.

### 2.3.10 Fechas de levantamiento de información

En el presente numeral se presentan las fechas o períodos a los que corresponde el levantamiento de información para cada medio y componente.

**Tabla 2-113. Fechas o períodos de levantamiento de información.**

Medio / Componente	Descripción	Fecha
Abiótico	Levantamiento de información del componente geosférico, hidrología y usos y usuarios del agua.	Del 17 al 20 de mayo de 2022 Del 16 al 17 de noviembre de 2022 Del 22 al 23 de noviembre de 2022 Del 13 al 14 de febrero de 2023 El 6 de marzo de 2023 El 3 de mayo de 2023 El 8 de junio de/2023
	Monitoreo calidad de agua época húmeda.	18/05/2022
	Monitoreo calidad de agua época seca.	12/07/2022
	Monitoreo calidad de agua río Cauca	28/02/2023
	Monitoreo calidad de aire.	Del 17 de mayo de 2022 al 22 de junio de 2022
	Monitoreo de ruido y aforos vehiculares.	Del 29 al 30 de mayo de 2022 Del 11 al 14 de junio de 2022 Del 18 al 21 de junio de 2022
Biótico	Muestras de flora.	Del 18 al 23 de mayo de 2022 Del 16 al 24 de noviembre de 2022 Del 13 al 14 de febrero de 2023 Del 1 al 3 de marzo al 3 de mayo de 2023 Del 8 al 22 de junio de 2023

 <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.: 3	2024-08-09

Medio / Componente	Descripción	Fecha
	Muestreos de fauna.	El 5 de julio de 2023 <a href="#">Del 11 al 12 de julio de 2024</a>
		Del 18 al 23 de mayo de 2022 Del 18 al 20 de noviembre de 2022 Del 8 al 10 de junio de 2023 <a href="#">Del 04 de julio al 09 agosto de 2024</a>
		Monitoreo hidrobiológicos época húmeda. 18/05/2022
		Monitoreo hidrobiológicos época húmeda. 12/07/2022
		Monitoreo hidrobiológicos río Cauca 28/02/2023
Paisaje	Levantamiento de información del componente paisaje.	Del 17 al 20 de mayo de 2022 Del 16 al 17 de noviembre de 2022 Del 22 al 23 de noviembre de 2022 Del 13 al 14 de febrero de 2023 El 6 de marzo de 2023 El 3 de mayo de 2023 El 8 de junio de/2023
Valoración económica	Encuestas.	

Fuente: SAG, 2024

**Tabla 2-114. Fechas de reuniones de socialización con grupos de interés del área de influencia del proyecto.**

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
<b>Autoridades Ambientales y Locales</b>					
Medellín	Gobernación de Antioquia	14/06/2023	2:00 pm.	Medellín	5
Medellín	Corantioquia	9/09/2022	8:00 a.m.	Corantioquia	9
Medellín	Corantioquia	20/03/2024	1:30 pm	Corantioquia	2
Medellín	Provincia de Administración Cartama	28/09/2022	2:00 pm	Medellín	3
Fredonia	Alcaldía Municipal de Fredonia	6/09/2022	10:00 a.m.	Salón 1 Casa de la Cultura	6
Fredonia	Personería Municipal	6/09/2022	9:00 a.m.	Personería Municipal	1

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
Fredonia	Delegada de la Alcaldía y Personería Municipal de Fredonia	10/11/2023	10:00 a.m.	Casa de la Cultura - Fredonia	8
Fredonia	Alcaldía Municipal de Fredonia	28/02/2024	9:00 a.m.	Casa de la Cultura	4
Fredonia	Concejo Municipal de Fredonia	6/09/2022	3:00 p.m.	Recinto Concejo Municipal	5
Fredonia	Concejo Municipal de Fredonia	28/02/2024	4:00 p.m.	Recinto del Concejo Municipal	19
Jericó	Alcaldía Municipal Consejo Territorial de Planeación-CTP Asocomunal Personería Municipal Presidente Concejo Municipal	8/09/2022	8:00 a.m.	Despacho del alcalde	13
Jericó	Personería de Jericó	28/10/2022	10:00 am.	Jericó	2
Jericó	Alcaldía y Asocomunal	12/10/2023	10:00 a.m.	Casa de la Cultura – Jericó	2
Jericó	Alcalde y secretarios de despacho, Personería Municipal, Asocomunal, Consejo Territorial de Planeación-CTP	09/11/2023	10:00 a.m.	Despacho de la Alcaldía – Jericó	20
Jericó	Alcaldía Municipal Consejo Territorial de Planeación-CTP	27/02/2024	10:20 a.m.	Despacho del alcalde	11
Jericó	Concejo Municipal de Jericó	10/11/2022	9:00 am	Jericó	16
Jericó	Secretaría de Hacienda de Jericó	03/03/2023	2:30 pm	Jericó	1
Jericó	Concejo Municipal de Jericó	25/11/2023	10:00 am	Jericó	16
Jericó	Concejo Municipal de Jericó	27/02/2024	3:00 p.m.	Recinto del Concejo Municipal	11
<b>Comunidades</b>					
Fredonia	Vereda Puente Iglesias	8/09/2022	5:30 p.m.	C.E.R Alfonso Palacio	25
Fredonia	Vereda Puente Iglesias Sector El Mango	11/08/2023	4:00 pm	Fredonia	10
Fredonia	Vereda Puente Iglesias Sector El Puente	11/08/2023	5:10 pm	Fredonia	9

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
Fredonia	Vereda Puente Iglesias Sector La Blanquita	07/09/2023	5:00 pm	Fredonia	14
Fredonia	Vereda Puente Iglesias Sector La Guajira	10/08/2023	4:30 pm	Fredonia	12
Fredonia	Vereda Puente Iglesias sectores La Guajira, La Blanquita y El Mango	13/10/2023	2:30 p.m.	Billares del sector La Blanquita – Puente Iglesias – Fredonia	10
Fredonia	Vereda Puente Iglesias sectores La Guajira y La Blanquita	10/11/2023	4:00 p.m.	Billares de Eliseo - Puente Iglesias – Fredonia	15
Fredonia	Vereda Puente Iglesias sectores El Puente y Santa Elena	13/10/2023	4:30 p.m.	Institución Educativa de Puente Iglesias – Fredonia	12
Fredonia	Vereda Puente sectores El Mango, El Puente, La Estación, Santa Elena y San José	11/11/2023	3:00 p.m.	C.E.R. Alfonso Palacio – Puente Iglesias – Fredonia	12
Fredonia	Vereda Puente Iglesias- Sectores El Puente, Santa Elena, La Estación	1/03/2024	6:00 p.m.	C.E.R Alfonso Palacio	10
Fredonia	Vereda Puente Iglesias- Sectores La Blanquita y La Guajira	1/03/2024	3:20 p.m.	Billar de Eliseo	13
Fredonia	Vereda Puente Iglesias- Sector La Guajira	11/07/2024	3:00 pm	Tienda La Ardita-Sector La Guajira	22
Jericó	Vereda Cauca	8/09/2022	1:45 p.m.	C.E.R. Cauca Viejo	4
Jericó	Pobladores (Trabajadores de las fincas) de la vereda Cauca	08/03/2023	4:00 pm	Jericó	11
Jericó	Pobladores (dueños de fincas) de la vereda Cauca Sector La Sorga	19/03/2023	10:20 am	Jericó	20
Jericó	Pobladores de la Vereda Cauca Sector Rio Piedras	09/05/2023	11:00 am	Medellín	4

 <p><b>SAG</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.: 3	2024-08-09

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
Jericó	Representante sector La Sorga – Vereda Cauca	11/02/2023	10:00 am	Jericó	2
Jericó	Vereda Cauca	23/02/2024	5:00 p.m.	Plataforma virtual Microsoft Teams	3
Jericó	Vereda Cauca	28/02/2024	1:00 p.m.	C.E.R. Cauca Viejo	6
Jericó	Parcelación Los Búcaros	10/07/2023	5:15 pm	Virtual	6
Jericó	Parcelación Botero Alto	30/10/2023	5:30 pm	Medellín	8
<b>Propietarios o encargados de predios a intervenir y/o donde se solicitará el uso y aprovechamiento de los recursos naturales</b>					
Jericó	Propietarios Fundación Berta Arias de Botero - Fundarias	11/08/2022	8:00 am.	Medellín	6
Jericó	Propietario Predio La Sierra	17/04/2023	3:30 p.m.	Medellín	3
Fredonia	Propietario Predio Manantiales	28/02/2022 31/03/2022 16/05/2022 09/08/2022 02/09/2023 11/12/2023	2:00 pm	Medellín	3
Fredonia	Propietario Fincas La Soledad y La Granada	22/09/2022 26/11/2021 3/03/2022	a.m.	Medellín	3
Fredonia	Propietario Predio Agrotunez	10/10/2022 02/05/2023 23/11/2023 27/02/2024	4:00 pm	Medellín	3
Fredonia	Representante predio Naranjal - El Retiro.	07/10/2022 11/03/2024	a.m.	Medellín	3
Fredonia	Propietario predios La Suiza y Las Mercedes (Hotel Tahiti).	Virtual: 22/11/2021 Presencial: 03/03/2022 13/05/2022 1/06/2022 07/07/2022 31/10/2022 11/08/2023 11/02/2024	p.m.	Medellín	3
		12/07/2024	11:20 a.m.	Predio La Suiza (Hotel Tahiti),	5

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
				VEREDA Puente Iglesias, Fredonia	
<b>Organizaciones sociales de la sociedad civil ambientales y comunitarias</b>					
Jericó	Comité Prodefensa Jericó	5/09/2022	6:20 p.m.	Centro de Historia	7
Jericó	Mesa Ambiental de Jericó	7/09/2022	5:15 p.m.	Salón Parque Educativo	5
Jericó	Mesa Ambiental de Jericó y Mesa Técnica del Suroeste	19/04/2023	10:00 am	Jericó	25
Jericó	Mesa Ambiental de Jericó y Veeduría Ciudadana John Jairo Arcila	09/11/2023	4:30 p.m.	Centro de Historia – Jericó	8
Jericó	Mesa Ambiental de Jericó y Veeduría Ciudadana John Jairo Arcila	11/10/2023	5:00 p.m.	MAJA – Jericó	6
Jericó	Mesa Ambiental de Jericó y Veeduría Ciudadana John Jairo Arcila	2/03/2024	11:00 a.m.	Parque Educativo	4
Jericó	Museo de Arqueología y Antropología de Jericó	03/02/2023	9:00 am	Jericó	4
Jericó	Centro de Historia de Jericó	01/02/2023	1:00 pm	Jericó	2
Fredonia	Docentes de la Institución Educativa Llano Grande – Puente Iglesias	03/02/2023	12:40 pm.	Fredonia	27
Jericó	Veeduría Ciudadana por el uso y preservación de recursos naturales	10/02/2023	10:00 am	Jericó	6
Fredonia	Consejo Territorial de Planeación – CTP, Asocomunal y Mesa Ambiental	6/09/2022	5:30 p.m.	Sede ASOMUF	13
Fredonia	Organizaciones sociales	12/10/2023	5:00 p.m.	Auditorio de I.E Normal Superior - Fredonia	8
Fredonia	Asocomunal Mesa Ambiental CTP	11/11/2023	10:00 a.m.	Auditorio de I.E Normal	13

	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO INTERCONEXIÓN CARRIELES A 230 MIL VOLTIOS</b>		
		Rev. No.: 3	2024-08-09

Municipio	Grupo de interés	Fecha	Hora	Lugar	Asistentes
				Superior - Fredonia	
Fredonia	Mesa Ambiental, CTP, Asocomunal ASOMUF, Vigías del Patrimonio y Aguaceros	29/02/2024	5:00 p.m.	Casa de la Cultura	8
<b>Empresas</b>					
Jericó	Nube Extrema	8/09/2023	10:00 a.m.	Sede Nube Extrema	4
Jericó	Comité de Cafeteros	10/02/2023	2:00 pm.	Jericó	4
Medellín	EPM	28/09/2022	9:00 a.m.	Medellín	6

*Fuente: SAG, 2024*

### 2.3.11 Razón social y equipo de profesionales participantes en el Estudio de Impacto Ambiental

La empresa responsable de desarrollar el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto fue Servicios Ambientales y Geográficos S.A. (SAG). En la Tabla 2-115 se relaciona el listado de profesionales que participaron en el EIA del proyecto.

**Tabla 2-115. Profesionales que participaron en el Estudio de Impacto Ambiental.**

Nombre	Profesión	Responsabilidad
Rodrigo José Vélez Otálvaro	Ingeniero Civil, Magíster en Recursos Hidráulicos	Director del estudio de impacto ambiental
Angela María Cajas Pabón	Ingeniera Ambiental, Especialista en Sistemas Integrados de Gestión, Magíster en Proyectos de Desarrollo Sostenible	Directora del estudio de impacto ambiental
Maria Catalina Hurtado Ramírez	Ingeniera Ambiental, Especialista en Gestión Ambiental.	Coordinadora general del estudio de impacto ambiental y del medio abiótico
Luis Fernando García Montoya	Biólogo, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Especialista en Gestión Ambiental	Coordinador medio biótico
Marta Isabel Matute Campuzano	Antropóloga, Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo	Coordinadora medio socioeconómico
María Camila Alzate Torres	Economista - Magíster en Ciencias económicas	Evaluación económica ambiental

<b>Nombre</b>	<b>Profesión</b>	<b>Responsabilidad</b>
Juan Sebastián Pérez Vallejo	Ingeniero Ambiental, Magíster en Ingeniería Ambiental	Componente suelos
Jorge Emilio Ángel Robledo	Ingeniero Geólogo	Director componente geológico, geomorfológico, hidrogeológico y geotécnico Plan de Gestión del Riesgo
Luis Manuel Escalona Molina	Ingeniero geólogo. Especialista en Hidrogeología	Componente geológico, geomorfológico, hidrogeológico y geotécnico Plan de Gestión del Riesgo
Camilo Andrés Martínez Angulo	Ingeniero geólogo	Componente geológico, geomorfológico, hidrogeológico y geotécnico Plan de Gestión del Riesgo
Carlos Andrés Jaimes Hernández	Ingeniero químico	Componente atmosférico
Sebastián Builes Suárez	Ingeniero de Sonido	Componente atmosférico
Stefanya Ángel Echeverri	Ingeniera Ambiental	Componente atmosférico
Frank Edilson Ospina Giraldo	Ingeniero Químico - Esp. en Ingeniería Ambiental – MSc. en Ingeniería	Componente atmosférico
Leonardo Fabio Barrios Ziolo	Ingeniero Biológico, Magister en Recursos Hidráulicos	Componente hidrología y usos del agua
Yina Sofía Racinez Jaramillo	Ingeniera Ambiental	Componente hidrología y usos del agua
Nancy Fiorela Ordoñez Castillo	Bióloga, Magister en Bosques y Conservación Ambiental	Especialista componente biótico – Especies amenazadas y vedadas
Sandra Milena Gallo Delgado	Bióloga-Magister en Biología.	Componente flora
Jhon Colorado	Biólogo	Componente flora
Isabel Guarín	Bióloga	Componente flora
Jorge Londoño	Bióloga	Componente flora
Sandra Marcela Cohen Ballesteros	Bióloga	Componente fauna
Lucas Arias	Ecólogo	Componente fauna
Jesús Mendoza Polo	Biólogo	Componente fauna

<b>Nombre</b>	<b>Profesión</b>	<b>Responsabilidad</b>
Luis Manuel Solano	Biólogo	Componente fauna
Carolina Uribe	Bióloga	Componente biótico – Ecosistemas acuáticos
Tibisay Posada Palacio	Bióloga	Componente biótico – Ecosistemas acuáticos
Diana Carolina Castellanos Mejía	Bióloga	Componente biótico – Ecosistemas acuáticos
Elizabeth Gutiérrez Ocampo	Socióloga	Medio socioeconómico
Nicolás Diazgranados Berrio.	Antropólogo	Medio socioeconómico
Yamid Noried Moreno Acosta	Trabajador social	Medio socioeconómico
Elvira Aguilar Amaya	Ingeniera Agrónoma, Magíster en Bosques y Conservación Ambiental	Coordinadora paisaje, fragmentación, servicios ecosistémicos
Catalina Ruíz Osorio	Ingeniera Forestal, Magíster en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad	Fragmentación y conectividad
Marisela Salinas Gutiérrez	Ingeniera forestal	Paisaje
Kelly Johana Vasco Chica	Ingeniera ambiental	Paisaje
Santiago Henao Duque	Ingeniero Ambiental, especialista en construcción sostenible	Componente servicios ecosistémicos
Beatriz Helena Arias Arcila	Ingeniera ambiental, Especialista en Sistemas de Información Geográfica	Directora Componente geomático
Yeins Margarita Caballero González	Ingeniera ambiental, Especialista en Sistemas de Información Geográfica	Componente sistemas de información geográfica

*Fuente: SAG, 2024*