

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO “CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2”

## CAPÍTULO 2. GENERALIDADES



**AUTOPISTAS URABÁ S.A.S.**



Realizado por



3/10/2025

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2 GENERALIDADES</b> .....	<b>11</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	11
2.1.1 Justificación del proyecto.....	11
2.1.2 Estudios e investigaciones previas .....	14
2.1.3 Radicación de solicitudes de sustracción de reservas forestales de la Ley 2 de 1959 y/o de levantamiento de veda .....	15
2.1.4 Trámites anteriores ante autoridades competentes .....	15
2.1.4.1 Consultas ante entidades y certificaciones en el marco de modificación de Licencia Ambiental .....	17
2.1.5 Identificación de áreas del SINAP y SIRAP, ecosistemas estratégicos y áreas ambientalmente sensibles.....	19
2.1.6 Ubicación de otros proyectos en las áreas de influencia.....	20
2.1.6.1 Análisis de superposición de proyectos con el área de intervención .....	23
2.1.6.2 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia abiótica .....	27
2.1.6.3 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia biótica .....	28
2.1.6.4 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia socioeconómica.....	29
2.1.7 Explotación de fuentes de materiales .....	39
2.1.8 Permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales .....	39
2.1.9 Potenciales implicaciones del proyecto en relación con las políticas, planes, programas y proyectos a nivel nacional, departamental y municipal .....	39
2.2 ALCANCES .....	41
2.2.1 Alcance de la modificación de la licencia ambiental.....	41
2.2.2 Limitaciones y/o restricciones del EIA.....	43
2.3 METODOLOGÍAS .....	44
2.3.1 Formulación y descripción del proyecto .....	44
2.3.2 Áreas de influencia .....	44
2.3.2.1 Fase preliminar .....	46
2.3.2.2 Fase de análisis .....	46
2.3.3 Caracterización del área de influencia .....	48
2.3.3.1 Medio abiótico.....	48

2.3.3.2	Medio biótica.....	136
2.3.3.3	Caracterización socioeconómica.....	172
2.3.4	Servicios ecosistémicos.....	177
2.3.4.1	Definición de la unidad de análisis – UMA .....	177
2.3.4.2	Identificación y valoración de la dependencia de las comunidades a los servicios ecosistémicos.....	177
2.3.4.3	Análisis de escala espacial y temporal.....	180
2.3.4.4	Determinación del estado de los Servicios ecosistémicos.....	180
2.3.4.5	Dependencia del proyecto a los servicios ecosistémicos .....	181
2.3.4.6	Tendencia de los servicios ecosistémicos.....	181
2.3.4.7	Impacto del proyecto sobre los servicios ecosistémicos.....	182
2.3.5	Zonificación ambiental .....	182
2.3.6	Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales.....	185
2.3.6.1	Ocupaciones de cauces, lechos y playas fluviales .....	185
2.3.6.2	Permiso de aprovechamiento forestal .....	189
2.3.7	Evaluación ambiental.....	191
2.3.7.1	Signo .....	192
2.3.7.2	Intensidad (IN) .....	192
2.3.7.3	Extensión (EX).....	192
2.3.7.4	Momento (MO).....	193
2.3.7.5	Persistencia o duración (PE).....	194
2.3.7.6	Reversibilidad (RV) .....	195
2.3.7.7	Sinergia (SI).....	196
2.3.7.8	Acumulación (AC).....	196
2.3.7.9	Efecto (EF).....	196
2.3.7.10	Periodicidad (PR).....	197
2.3.7.11	Recuperabilidad (MC) .....	197
2.3.8	Valoración económica .....	202
2.3.8.1	Impactos ambientales significativos .....	203
2.3.8.2	Impactos internalizables por PMA.....	203
2.3.8.3	Impactos no internalizables.....	204
2.3.8.4	Cuantificación biofísica de cambios en los SSEE.....	204
2.3.8.5	Análisis de internalización .....	204

2.3.8.6	Análisis Costo Beneficio de impactos relevantes no internalizables .....	204
2.3.9	Zonificación de manejo ambiental.....	206
2.3.10	Planes y programas .....	209
2.3.10.1	Plan de manejo ambiental.....	209
2.3.10.2	Plan de seguimiento y monitoreo .....	210
2.3.11	Plan de gestión del riesgo.....	210
2.3.11.1	Probabilidad de ocurrencia.....	211
2.3.11.2	Evaluación de la vulnerabilidad .....	211
2.3.11.3	Análisis de riesgo.....	214
2.3.11.4	Plan de desmantelamiento y abandono .....	215
2.3.12	Otros planes y programas.....	216
2.3.12.1	Plan de compensación por pérdida de biodiversidad .....	216
2.3.12.2	Que compensar.....	216
2.3.12.3	Cuanto compensar.....	217
2.3.12.4	Donde compensar.....	217
2.3.12.5	Acciones de compensación.....	217
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>218</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Antecedentes del proyecto Variante Mutatá .....	15
Tabla 2.2 Resumen de consultas para la identificación de comunidades y áreas sensibles.....	17
Tabla 2.3 Folios de Matrícula Inmobiliaria de predios .....	24
Tabla 2.4. Proyectos que cuentan con instrumento de manejo y/o control - CORPOURABA....	24
Tabla 2.5. Título cercano al área de intervención.....	27
Tabla 2.6. Títulos mineros superpuestos con el área de influencia abiótica .....	28
Tabla 2.7. Títulos mineros superpuestos con el área de influencia abiótica .....	28
Tabla 2.8. Títulos mineros identificados dentro del área de influencia socioeconómica. ....	29
Tabla 2.9. Proyecto vial.....	30
Tabla 2.10. Análisis de superposición de proyectos.....	32
Tabla 2.11 Permiso de Colecta .....	39
Tabla 2.12 Unidades funcionales de la Concesión "Autopista al Mar 2" .....	40
Tabla 2.13 Folios de Matrícula Inmobiliaria de predios .....	41
Tabla 2.14 Unidades mínimas de análisis por medio y componentes .....	47
Tabla 2.15 Calificación del factor morfometría .....	51
Tabla 2.16 Imágenes satelitales usadas para el análisis multitemporal.....	51
Tabla 2.17 Pesos asignados a los factores condicionantes .....	52
Tabla 2.18 Valores asignados a las clases de cada factor .....	52
Tabla 2.19 Categorías de escala visual .....	56
Tabla 2.20 Criterios para la evaluación de la calidad visual .....	57
Tabla 2.21 Clases utilizadas para evaluar la calidad visual.....	58
Tabla 2.22 Criterios de valoración para determinar la Capacidad de Absorción Visual - CAV...	58
Tabla 2.23 Escala de valoración de la Capacidad de Absorción del paisaje .....	59
Tabla 2.24 Categoría de elementos discordantes según su número.....	59
Tabla 2.25 Tamaño de la discordancia según el porcentaje del área .....	60
Tabla 2.26 Criterio de valoración para la correspondencia cromática .....	60
Tabla 2.27 Categorías de integridad escénica según la intervención antrópica .....	61
Tabla 2.28 Categorías utilizada para calificar los sitios de paisaje en las socializaciones con la comunidad del municipio de Mutatá.....	62
Tabla 2.29 Criterio de zonificación del componente de paisaje .....	62
Tabla 2.30 Componentes del símbolo de las unidades de suelos .....	63
Tabla 2.31 Clase de capacidad de uso del suelo .....	65
Tabla 2.32 Clase de capacidad de uso del suelo .....	66
Tabla 2.33 Índice de capacidad para la evaluación de la forma .....	73
Tabla 2.34 Clasificación del factor de forma.....	73
Tabla 2.35 Clasificación de la cuenca de acuerdo con la pendiente .....	73
Tabla 2.36 Descripción del índice de sinuosidad .....	74



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"**



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Tabla 2.37 Clasificación de la densidad de corrientes.....	74
Tabla 2.38 Intervalos aproximados de variación de los parámetros hidráulicos del modelo .....	84
Tabla 2.39 Rango de variación de otros parámetros del modelo de tanques .....	85
Tabla 2.40 Categorías del índice de Aridez IA .....	86
Tabla 2.41 Categorías de IRH.....	86
Tabla 2.42 Distribuciones de probabilidad empleadas .....	87
Tabla 2.43 Expresiones para el cálculo del factor de frecuencia y el error estándar .....	87
Tabla 2.44 Puntos de monitoreo de calidad del agua.....	98
Tabla 2.45 Laboratorios involucrados en la toma de muestras y análisis .....	99
Tabla 2.46 Métodos de análisis para los parámetros de calidad del agua evaluados.....	100
Tabla 2.47. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	101
Tabla 2.48 Clasificación para los valores del Índice de Uso de Agua.....	104
Tabla 2.49 Matriz de relación entre IUA e IRH para la estimación del IVH.....	104
Tabla 2.50 Grado de vulnerabilidad según el método GOD .....	109
Tabla 2.51 Pesos asignados a los factores condicionantes .....	115
Tabla 2.52 Valores asignados a las clases de cada factor .....	115
Tabla 2.53 Identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo calidad del aire ....	118
Tabla 2.54 Parámetros medidos y métodos de medición empleados.....	119
Tabla 2.55 Descripción de los equipos de medición empleados .....	121
Tabla 2.56. Descripción de los equipos de medición empleados .....	123
Tabla 2.57 Identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental	128
Tabla 2.58 Métodos de medición. ....	128
Tabla 2.59. Relación de los equipos de medición empleados. ....	129
Tabla 2.60 Descripción de los equipos de medición empleados. ....	129
Tabla 2.61 Corrección para pasar de ponderación frecuencial A a ponderación frecuencial C. .....	132
Tabla 2.62 Incertidumbre de medida del $L_{RAeq,T}$ según la ISO 1996-2 de 2007.....	134
Tabla 2.63 Fórmulas dasométricas .....	142
Tabla 2.64 Estadísticos del error del muestreo estratificado .....	143
Tabla 2.65. Índices de diversidad alfa evaluados por cobertura .....	145
Tabla 2.66 Índice de similitud de Jaccard para las coberturas evaluadas. ....	149
Tabla 2.67 Criterios para la selección de forófitos.....	155
Tabla 2.68 Ejemplo de intensidad de Forófitos evaluados en un área de intervención.....	157
Tabla 2.69 Índice de similitud de Jaccard para las coberturas evaluadas. ....	159
Tabla 2.70 Diseño de muestreo para la flora presente en otros sustratos (Terrestre, Rupícola y madera en descomposición). ....	161
Tabla 2.71 Métricas de análisis.....	162
Tabla 2.72 Principales fuentes de información del medio socioeconómico. Revisión documental y en fuentes secundarias .....	174
Tabla 2.73 Herramientas de convocatoria e información.....	175
Tabla 2.74 Metodología del taller de impactos .....	175
Tabla 2.75 Rangos de dependencia para la unidad de análisis .....	179
Tabla 2.76 Matriz de identificación y categorización de la dependencia de los SSEE.....	179
Tabla 2.77. Estado de conservación de acuerdo con el grado de intervención .....	181
Tabla 2.78 Criterios para definir el grado de dependencia del proyecto a los SSEE .....	181

Tabla 2.79	Crterios para definir la tendencia de los servicios ecosistémicos .....	181
Tabla 2.80	Grado del impacto sobre los servicios ecosistémicos .....	182
Tabla 2.81	Categorías de calificación de la sensibilidad .....	183
Tabla 2.82	Localización puntos de ocupación de cauce .....	186
Tabla 2.83	Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial .....	188
Tabla 2.84	Formulas dasométricas. ....	190
Tabla 2.85.	Descripción del criterio Signo (+/-).....	192
Tabla 2.86.	Descripción del criterio Intensidad (IN) .....	192
Tabla 2.87.	Descripción del criterio Extensión (EX).....	193
Tabla 2.88.	Descripción del criterio Momento (MO) .....	193
Tabla 2.89.	Descripción del criterio Persistencia (PE).....	194
Tabla 2.90.	Descripción del criterio Reversibilidad (RV).....	195
Tabla 2.91.	Descripción del criterio Sinergia (SI) .....	196
Tabla 2.92.	Descripción del criterio Acumulación (AC).....	196
Tabla 2.93.	Descripción del criterio Efecto (EF) .....	196
Tabla 2.94.	Descripción del criterio Periodicidad (PR) .....	197
Tabla 2.95.	Descripción del criterio Recuperabilidad (RC) .....	197
Tabla 2.96	Metodología de valoración de impactos .....	198
Tabla 2.97	Clasificación de impactos negativos .....	201
Tabla 2.98	Clasificación de impactos positivos .....	202
Tabla 2.99	Interpretación del indicador VPN .....	205
Tabla 2.100	Interpretación de la RBC. Interpretación de la RBC.....	205
Tabla 2.101	Reclasificación de la zonificación ambiental para obtener la zonificación de manejo .....	207
Tabla 2.102	Categorías de manejo. ....	207
Tabla 2.103	Criterios de clasificación de amenazas.....	211
Tabla 2.104	Funciones para la estimación de la vulnerabilidad y sus componentes .....	212
Tabla 2.105	Definición de variables e insumos para la estimación de la vulnerabilidad y sus componentes .....	213
Tabla 2.106	Convenciones y valoración para la vulnerabilidad .....	214
Tabla 2.107	Cálculo nivel de vulnerabilidad .....	214
Tabla 2.108	Matriz base de reclasificación del riesgo según el marco temporal .....	215
Tabla 2.109	Clasificación del nivel del riesgo.....	215

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación de la modificación de licencia ambiental con respecto a las obras aprobadas por la Resolución 01752 de 2019.....	12
Figura 2.2	Localización del área objeto de solicitud de modificación de licencia del proyecto "Variante Mutatá" .....	13
Figura 2.3	Reservas Forestales Protectoras ley 2 de 1959 .....	20
Figura 2.4.	Superposición de proyectos licenciados con respecto al área de intervención y áreas de influencia.....	23
Figura 2.5	Usuarios del recurso hídrico presentes en la zona de interés .....	26
Figura 2.6.	Títulos mineros con respecto al área de intervención.....	27

Figura 2.7 Red de alta tensión en el área de influencia socioeconómica .....	31
Figura 2.8 Definición de Área de Influencia por componentes .....	45
Figura 2.9 Esquema de jerarquización geomorfológica.....	50
Figura 2.10 Modelo de elevación del terreno .....	55
Figura 2.11 Escala visual .....	56
Figura 2.12 Significado del símbolo que denota las unidades de suelos, escala 1:25.000 .....	63
Figura 2.13 Patrones de drenaje regionales documentados en la bibliografía.....	78
Figura 2.14 Modelo de tanques agregado lineal .....	80
Figura 2.15 Diagrama distribución temporal de la lluvia, según Huff (1967).....	90
Figura 2.16 Esquematación del hidrograma Unitario Sintético de Snyder.....	93
Figura 2.17 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S .....	94
Figura 2.18 Curva parámetro B vs n .....	96
Figura 2.19 Teoría de los ciclos crecientes en los sistemas de aguas subterráneas.....	106
Figura 2.20 Metodología de trabajo para la caracterización hidrogeológica del área de estudio .....	107
Figura 2.21 Esquema de distribución de zonas de recarga, descarga y sistemas de flujo .....	108
Figura 2.22 Leyenda de vulnerabilidad .....	110
Figura 2.23 Guía para aplicación del método GOD .....	110
Figura 2.24. Factor de seguridad según capacidad de carga.....	111
Figura 2.25 Método de evaluación en área con unidades de geología para ingeniería .....	112
Figura 2.26 Mecanismo de Falla propuesto por Terzaghi.....	113
Figura 2.27 Ecuación general de capacidad de carga.....	114
Figura 2.28 Análisis espacial puntos de monitoreo .....	119
Figura 2.29 Principales características del software AERMOD View.....	127
Figura 2.30 Cuantificación de las fuentes de incertidumbre asociadas al proceso de medición. ....	136
Figura 2.31 Esquemas de las parcelas de muestreo.....	138
Figura 2.32 Modelo de almacenamiento de información para parcelas de caracterización para Memento database .....	141
Figura 2.33 Modelo de almacenamiento de datos para epifitas vascular y no vasculares en Memento database .....	156
Figura 2.34 Subdivisión del forófito en estratos verticales.....	158
Figura 2.35 Proceso de unión de capas mediante el método de valor máximo. ....	185
Figura 2.36 Etapas de la evaluación económica ambiental.....	203
Figura 2.37 Proceso de unión de capas mediante el método de valor máximo. ....	209
Figura 2.38 Metodología de valoración .....	211

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1 Parcelas de Caracterización .....	139
Fotografía 2.2 Prensado de las especies colectadas en campo.....	140
Fotografía 2.3. Marcaje de forófitos para caracterización.....	155
Fotografía 2.4 Muestreo de epifitas no vasculares .....	158
Fotografía 2.5 Marcación Epifitas en otros sustratos. ....	161

Fotografía 2.6 Medición Diámetro a la Altura del Pecho y marcación con pintura asfáltica en el árbol..... 189

## REVISIÓN Y APROBACIÓN

Tipo de validación	Nombre de quién elaboró el informe	Fecha
Responsable de elaboración	<i>Equipo técnico AM – Alternativa Ambiental S.A.S</i>	
Responsable de revisión	<i>Angela María Salazar Guerrero</i> Coordinadora de proyectos	
Responsable de aprobación	<i>Diana Restrepo Londoño</i> Directora de proyectos y operaciones	

## DESCRIPCIÓN DE LAS REVISIONES

Índice de revisión	Sección modificada del documento	Fecha modificación	Observaciones
V0	NA	14/03/2025	Versión inicial

## 2 GENERALIDADES

El presente Estudio de Impacto Ambiental para la modificación de la Licencia Ambiental Resolución 01752 del 2019 del Proyecto "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)" en adelante "Variante Mutatá", presenta su componente geomático y cartográfico acogiendo la Resolución IGAC No. 471 de mayo 14 de 2020 y su modificación Resolución 529 del 5 de junio de 2020, razón por la cual se emplea el sistema único nacional MAGNA Sirgas CTM12 como sistema de referencia.

### 2.1 ANTECEDENTES

La presente modificación de licencia ambiental para el Proyecto "Variante Mutatá" de la Unidad Funcional 4, la cual hace parte de las vías objeto de la concesión «Autopista al Mar 2», que forman parte del contrato de Concesión 018 bajo el esquema de APP N.º VJ-VE-APP-IPB-002-2015, suscrito entre la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y el Concesionario AUTOPISTAS URABÁ S.A.S., se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia, en la República de Colombia, específicamente en el tramo Dabeiba - Mutatá correspondiente a la Unidad Funcional 4 – UF4.

#### 2.1.1 Justificación del proyecto

El proyecto "Construcción de La Variante Mutatá (UF4) de La Concesión Autopista Al Mar 2", cuenta con licencia ambiental otorgada por la Autoridad Nacional de Licencia Ambientales (ANLA) a través de la Resolución 01752 del 04 de septiembre de 2019, este tipo de obras se desarrolla en el marco de las concesiones viales de cuarta generación de gran impacto sobre el desarrollo e integración regional, contribuyendo al mejoramiento de la capacidad de la infraestructura vial para conectar los principales centros de producción y de consumo, el mejoramiento de la economía regional y nacional, el mejoramiento de la comunicación interregional, reducción de costos y tiempos de desplazamiento, optimización de los flujos y logística de bienes y personas, entre otros. Así mismo, buscar optimizar las condiciones operacionales del corredor vial y disminuir los tiempos de conexión entre los municipios del occidente y del Urabá antioqueño.

En pro de cumplir con lo expuesto anteriormente, se presenta la necesidad de realizar la modificación de licencia ambiental para el proyecto Variante Mutatá, considerando lo establecido en el Acta de Declaratoria de la Ocurrencia de un Evento Eximente de Responsabilidad (EER) del 14 de septiembre de 2022 (ver Anexo\_C2/ 2\_4\_Acta EER Mutata), del Proyecto de Concesión Autopista Al Mar 2 entre el K45+220 y el K46+191, se requiere realizar la modificación de dicha licencia derivado de la solicitud de la alcaldesa, el concejo municipal y comunidad de Mutatá al tramo de la Variante de Mutatá y la correspondiente necesidad de buscar una propuesta integral de alternativas de solución para la implementación de la variante con la intención de que el trazado no afecte la infraestructura comunitaria (cancha de fútbol No. 5).

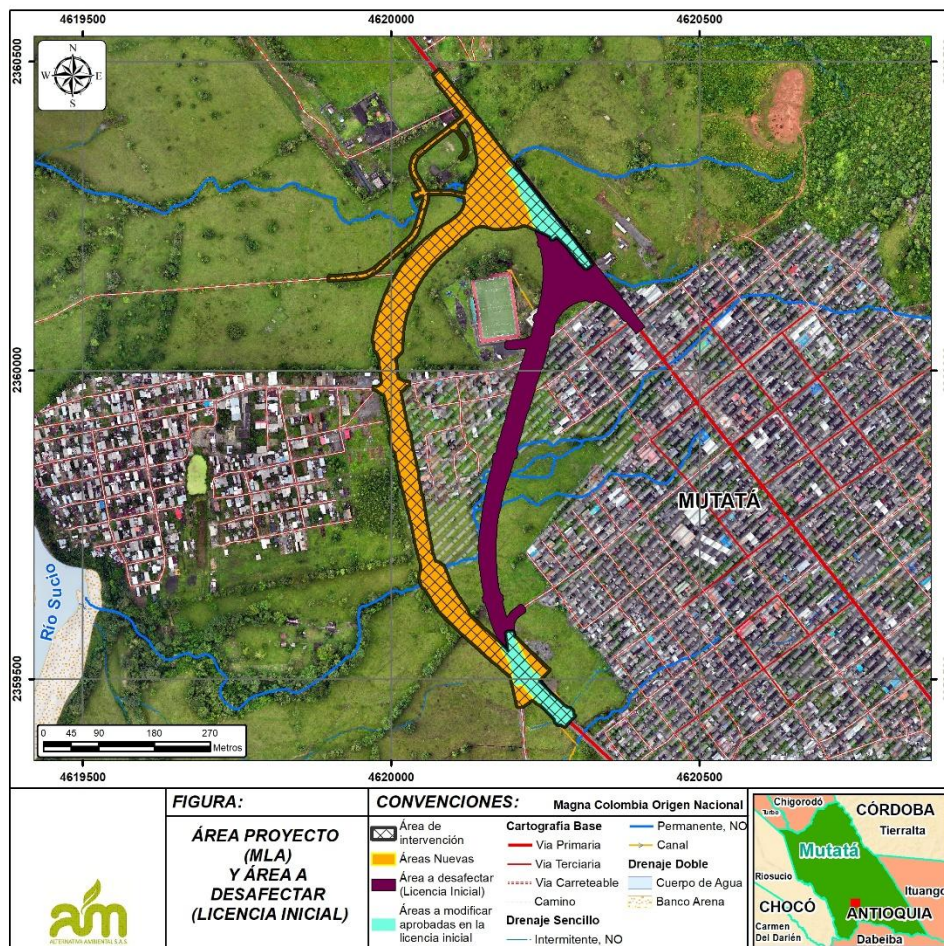
Las obras objeto de modificación de la licencia del proyecto Variante Mutatá son las siguientes:

- Intersección a nivel del tipo glorieta con sus respectivos lazos de accesos y salidas
- Alineamiento del corredor principal

- Restitución de acceso a predio cercano a la glorieta
- Box vehicular
- **Desvío temporal para la construcción del Box vehicular**
- Acceso a vía existente
- Obras hidráulicas menores
- Muro en tierra armada
- Área de maniobras (buffer de 3-5 m)
- Instalaciones temporales

De igual forma implica la devolución de infraestructura entre la PK45+220 y PK46+219,38 (antes denominada K46+190 del alineamiento previo aprobado mediante la resolución 01752 de 2019) del alineamiento aprobado en la resolución 01752 de 2019.

En la Figura 2.1 se ilustra el cambio en el trazado objeto de modificación de la licencia ambiental, con respecto a los diseños originales aprobados en la Resolución 01752 de 2019 y en la Figura 2.2 se visualiza la denominada Área Proyecto que corresponde a **5,84 ha** determinada por el área de intervención a partir de las áreas nuevas y las áreas a modificar.



**Figura 2.1 Ubicación de la modificación de licencia ambiental con respecto a las obras aprobadas por la Resolución 01752 de 2019**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.



Figura 2.2 Localización del área objeto de solicitud de modificación de licencia del proyecto "Variante Mutatá"

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

En ese sentido, teniendo en cuenta las causas de la modificación de Licencia Ambiental especificadas anteriormente y las áreas objeto de estudio, se llevan a cabo estudios enmarcados en los términos de referencia propuestos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y adaptados por el ANLA para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental para Proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos, adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0751 del 26 de marzo de 2015 y Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales generada por la ANLA en 2018<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> (MADS, 2018)

## 2.1.2 Estudios e investigaciones previas

Como estudios e investigaciones previas a la presente solicitud de modificación de licencia ambiental se encuentran los siguientes, los cuales fueron emitidos en su momento a la autoridad ambiental.

**Diagnóstico ambiental de alternativas, 2016:** El 26 de septiembre de 2016, mediante el radicado ANLA N.º 2016060733-1-000, el Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. solicitó a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) un pronunciamiento sobre la No Necesidad de Diagnóstico Ambiental de Alternativas (NDAA) para la intervención denominada «Construcción de la variante al casco urbano del municipio de Mutatá», en el departamento de Antioquia.

- En respuesta, la ANLA, mediante radicado N.º 2016078724-2-000 del 28 de noviembre de 2016, indicó lo siguiente como parte de los resultados de la evaluación:

*«Esta Autoridad considera que el proyecto “Construcción de la Variante al casco urbano del municipio de Mutatá” en el departamento de Antioquia, no requiere la realización de un Diagnóstico Ambiental de Alternativas, y en su lugar, debe elaborarse un Estudio de Impacto Ambiental. Los diseños del proyecto deben ajustarse para que el trazado sea una opción intermedia entre las alternativas 1 y 2, evitando la intervención en las zonas urbana y de expansión urbana, respetando tanto la ronda del río como sus zonas de inundación.»*

- Posteriormente, el 10 de marzo y el 5 de mayo de 2017, mediante los radicados N.º 2017017417-1-000 y N.º 2017032456-1-000, respectivamente, Autopistas Urabá S.A.S. solicitó a la ANLA una aclaración sobre el pronunciamiento emitido en el radicado N.º 2016078724-2-000 del 28 de noviembre de 2016.
- El 26 de mayo de 2017, mediante radicado ANLA N.º 2017038354-2-000, la ANLA, tras analizar los argumentos presentados por Autopistas Urabá S.A.S., consideró pertinente aclarar el pronunciamiento emitido anteriormente, de la siguiente manera:

*«Luego de analizar la documentación presentada por Autopistas Urabá S.A.S., mediante el radicado N.º 2016060733-1-000 del 26 de septiembre de 2016, y de revisar la información presentada en el radicado ANLA N.º 2017032456-1-000 del 5 de mayo de 2017, y teniendo en cuenta las consideraciones previas, así como lo dispuesto en el Artículo 2.2.2.3.4.2 y el numeral 1 del artículo 2.2.2.3.6.1 del Decreto 1076 de 2015, esta Autoridad considera que el proyecto “Construcción de la Variante al casco urbano del municipio de Mutatá” en el departamento de Antioquia **no requiere un Diagnóstico Ambiental de Alternativas. En su lugar, debe presentarse un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el desarrollo del trazado propuesto por el costado izquierdo del municipio, asegurando el respeto por la ronda del río y sus zonas de inundación, y garantizando la mínima afectación al área de expansión urbana del municipio.»***

**Licencia Ambiental, 2019:** Mediante la Resolución 01752 de 4 de septiembre de 2019 la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales otorgo a la sociedad Autopistas Urabá S.A.S, la licencia ambiental para la ejecución del proyecto “Construcción de la Variante Mutatá, sector Dabeiba -Mutatá de la vía Medellín – Turbo”.

- Autopistas Urabá interpuso recurso de reposición mediante comunicación No. 03-03-20190927002892 del 27 de septiembre de 2019, con radicado ANLA No. 2019149117-1-000, del 27 de septiembre de 2019.

- ANLA mediante Resolución No. 02290 del 20 de noviembre de 2019, por la cual se resuelve un recurso de reposición contra la Resolución No. 01752 del 4 de septiembre de 2019.

### 2.1.3 Radicación de solicitudes de sustracción de reservas forestales de la Ley 2 de 1959 y/o de levantamiento de veda

Según la validación realizada en el visor del SIAC y el visor del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que permite verificar la “Zonificación de Reservas Forestales de Ley 2 de 1959 y Reservas Forestales Protectoras Nacionales” en el área de interés para la modificación de la licencia ambiental del proyecto Variante Mutatá no hay presencia de reservas forestales de la Ley 2 de 1959, por lo tanto, no se requiere tramitar solicitud de sustracción. Este tema se desarrolla con mayor detalle en el apartado “Ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas”, del capítulo 5.2 Caracterización biótica.

### 2.1.4 Trámites anteriores ante autoridades competentes

En la Tabla 2.1 se presentan los antecedentes del procedimiento de licenciamiento ambiental del proyecto ante la autoridad ambiental, junto con los tramites ejecutados para el proceso de modificación de la licencia ambiental del mismo.

**Tabla 2.1 Antecedentes del proyecto Variante Mutatá**

<b>Radicado</b>	<b>Descripción</b>
Resolución 380 del 10 de febrero de 2016	La Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) definió la franja de utilidad pública del proyecto vial «Autopista al Mar 2».
Radicado AU357-2016 del 16 de mayo de 2016	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. le notificó y/o socializó a la administración municipal de Mutatá la Resolución N.º 380 del 10 de febrero de 2015 expedida por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), por la cual se declara de utilidad pública e interés social el proyecto Mar 2 incluyendo las correspondientes coordenadas del área.
Radicado N° 2016060733-1-000 del 26 de septiembre de 2016	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. solicitó ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, pronunciamiento sobre la No Necesidad de Diagnóstico Ambiental de Alternativas (NDAA) para el proyecto variante Mutatá.
Radicado N° 2016078724-2-000 del 28 de noviembre de 2016	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA determinó que la sociedad AUTOPISTAS URABÁ S.A.S., no requería la realización de un Diagnóstico Ambiental de Alternativas para el referido proyecto y en su lugar, procedía la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA - con la correspondiente solicitud de la Licencia Ambiental.
Radicados N° 2017017417-1-000 del 10 de marzo y N.º 2017032456-1-000 del 05 de mayo de 2017	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. solicitó ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, aclarar el pronunciamiento emitido por medio del radicado N° 2016078724-2-000.
Radicado N° 2017038354-2-000 del 26 de mayo de 2017	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA aclaró el pronunciamiento emitido mediante radicado 2016078724-2-000 del 28 de noviembre de 2016, en el sentido de precisar que para el proyecto denominado “Construcción de la Variante al casco urbano del municipio de Mutatá”, se debe presentar el Estudio de Impacto Ambiental – EIA -, para el desarrollo del trazado propuesto, por el costado izquierdo del

<b>Radicado</b>	<b>Descripción</b>
	municipio garantizando la menor afectación ambiental en la construcción de dicho trazado.
Radicado N° 03-02-20180911001908 del 11 de septiembre de 2018	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. le notificó y/o socializó a la administración municipal de Mutatá, la Resolución 1213 de 2018 expedida por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), por medio de la cual se modifica la franja de utilidad pública establecida mediante la Resolución N.º 380 de 2015, incluyendo las coordenadas correspondientes del trazado del proyecto vial.
Radicado N° 2018161428-1-000 del 20 de noviembre de 2018	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. solicitó Licencia Ambiental para el proyecto denominado "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)" y anexa la documentación pertinente.
Auto 7666 del 5 de diciembre de 2018	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA inicia trámite administrativo para la evaluación de la Licencia Ambiental para el proyecto "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)", para el proyecto Autopista Al Mar 2.
Auto 295 del 11 de febrero de 2019	Se reconoce a la Agencia Nacional de Infraestructura -ANI-, como tercer interviniente en el trámite de solicitud de Licencia Ambiental.
Radicado 2019022313-1-000 del 25 de febrero de 2019	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. solicitó a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA la prórroga de un (1) mes.
Radicado 2019028294-2-000 del 07 de marzo de 2019	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA otorgó la prórroga de un (1) mes al Concesionario.
Radicado 2019043257-1-000 del 04 de abril de 2019	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. presentó la información adicional requerida en la respectiva reunión, llevada a cabo el día 05 de febrero de 2019 y de la cual se levantó el acta No. 2 de 2019.
Radicados 2019106843-1-000 del 25 de julio de 2019 y 2019107680-1-000 del 26 de julio de 2019	El Concesionario Autopistas Urabá S.A.S. remitió copia de la Resolución No. 200-03-20-01-0839-2019 del 11 de julio de 2019 proferida por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA, "Por la cual se levanta de manera parcial y temporal de veda regional y se toman otras determinaciones".
Auto 6970 del 30 de agosto de 2019	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA declaró reunida la información para decidir de fondo sobre la solicitud de Licencia Ambiental para el proyecto "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)".
Resolución 01752 del 04 de septiembre de 2019	Por la cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA otorga una Licencia Ambiental a la sociedad Autopistas Urabá S.A.S. para el proyecto "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)".
Resolución N° 02290 del 20 de noviembre de 2019	Por la cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA resuelve un recurso de reposición interpuesto contra la Resolución 1752 del 4 de septiembre de 2019, en el sentido de modificar y confirmar algunos artículos de la resolución recurrida.
Resolución N° 02403 del 29 de diciembre de 2021	Por la cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA evalúa un plan de compensación y se adoptan otras disposiciones.
Resolución N° 2637 del 2 de Nov 2022	Por la cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA aprueba totalmente el PCPBD, Radicado ANLA 20236200675632 del 29 de septiembre de 2023, Mediante el cual el Concesionario propone un nuevo polígono de compensación dentro del predio denominado "El

<b>Radicado</b>	<b>Descripción</b>
	Remolino localizado en el municipio de Dabeiba - Antioquia con un área de aproximadamente 13,33 hectáreas, resolución 598 del 2 de Abril del 2025 Mediante la cual la ANLA no aprueba el nuevo polígono propuesto y realiza requerimientos con relación PCPBD.
Acta del 14 de septiembre de 2022	Acta de declaratoria de la ocurrencia de un evento eximente de responsabilidad del proyecto de concesión Autopista al Mar 2, contrato bajo el esquema de APP No. 018 de 2015.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.1.4.1 Consultas ante entidades y certificaciones en el marco de modificación de Licencia Ambiental

Se realizaron consultas ante diferentes entidades con el propósito de verificar la presencia o no de comunidades étnicas; usos del suelo permitidos, restrictivos y prohibidos en la zona de estudio; determinantes ambientales a considerar en la modificación de Licencia Ambiental; vedas regionales presentes en el área de estudio y presencia de sabanas comunales y zonas de restitución de tierras; con el propósito de establecer medidas de prevención y/o manejo en pro de una gestión adecuada, evitando mayor presión sobre los recursos naturales y/o afectaciones sobre el patrimonio público o privado, comunidades aledañas y/o economía en el área de intervención. En la Tabla 2.2, se sintetiza las solicitudes de información que se han realizado para el proyecto objeto de modificación de Licencia Ambiental (ver Anexos\_C2/ 2\_1\_Consultas\_Entidades).

**Tabla 2.2 Resumen de consultas para la identificación de comunidades y áreas sensibles**

<b>N°</b>	<b>Entidad</b>	<b>Tipo de solicitud</b>	<b>Radicación de solicitud</b>
1	Subdirección de Asunto Étnicos <b>AGENCIA NACIONAL DE TIERRAS</b>	Solicitud de certificación sobre la existencia de Resguardos Indígenas legalmente constituidos y de tierras de propiedad colectiva de Grupos Étnicos en el Área de Interés para la modificación de la Licencia ambiental para la variante Mutatá.	Radicado ANT N° 202462007301092 del 13 de noviembre de 2024. Respuesta mediante radicado Nro. 202450010366241 del 28 de noviembre de 2024.
2	<b>AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES ANLA</b>	Solicitud de información y determinantes ambientales para el Trámite de Modificación de Licencia del Proyecto Vial Variante Mutatá.	Radicado 20256200044032 del 14 de enero de 2025. Respuesta mediante radicado Nro. 20252300042481 del 28 de enero 2025 y 20252300057851 del 4 de febrero 2025.
3	<b>CORPOURABA</b> Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá	Solicitud de información ambiental – determinantes ambientales, POMCA, PORH y Usos y Usuarios del Recurso Hídrico.  Solicitud de información ambiental – Canteras y zonas depósito de material RCD en jurisdicción de CORPOURABA.	Radicado 300-34-01630056 y 300-34-01630057 del 5 de enero de 2024. Respuesta mediante radicado 3000601010118 del 17 de enero de 2024.  Radicado 400-34-01.63-0058 del 5 de enero de 2024. Respuesta mediante comunicado 4000601010086 del 15 de enero de 2024.

N°	Entidad	Tipo de solicitud	Radicación de solicitud
		Solicitud de información ambiental – Veda Regional	Radicado 400-34-01.630059 del 5 de enero de 2024.  Respuesta mediante comunicado No. 400 06 01 0185 de 25 enero de 2024.
		Solicitud de información ambiental: Usos y Usuarios del Recurso Hídrico	Radicado 400-34-01.63-7027 del 27 de noviembre de 2024.  Respuesta mediante comunicado No. 400 06 01 01 3334 de 17 de diciembre de 2024.
		Derecho de petición - Solicitud de información ambiental: Manejo de cuerpos de agua artificiales - (Jagueyes).	Radicado 400-34-01.63-7294 del 9 de diciembre 2024. Respuesta mediante comunicado No. 400 06 01 01 3294 del 12 de diciembre de 2024.
		Solicitud de información sobre superposición de proyectos	<a href="#">Radicado 200-34-01.59-5080 del 01 de septiembre de 2025.</a> <a href="#">Respuesta mediante radicado 400-06-01-01-2241 del 12 de septiembre de 2025.</a>
4	Subdirección de Tierras de la Nación UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE RESTITUCIÓN DE TIERRAS DESPOJADAS.	Solicitud de certificación sobre presencia o no de Sabanas Comunes y Zonas de Restitución de Tierras en el área de interés de la modificación de licencia del proyecto Variante Mutatá.	Radicado 202422901190611 del 17 de diciembre de 2024. Respuesta mediante comunicado No. 202422901190611_35987 del 17 de diciembre de 2024.
5	Grupo de Gestión del Conocimiento e Innovación Parques Nacionales Naturales de Colombia	Respuesta a: “Solicitud de información y determinantes ambientales para el Trámite de Modificación de Licencia del Proyecto Vial Variante Mutatá.”, localizado en el municipio de Mutatá del departamento de Antioquia.	Radicado No. 20254700012882 del 30 de enero de 2025. Respuesta de comunicado No. 20252400301221 del 14 de febrero de 2025.
6	Secretaría de Planeación, Obras Públicas y Viviendas, Alcaldía Municipal, Mutatá, Antioquia.	Solicitud de información Certificado usos del suelo del municipio de Mutatá, Antioquia	Radicado interno: 03-03-20250313000850 del 13 de marzo de 2025 Respuesta 02-03-20250318000798 del 18 de marzo de 2025
7	Dirección De Autoridad Nacional De Consulta Previa - DANCP	Solicitud De Procedencia O No De Consulta Previa Para La Ejecución Del Proyecto Construcción Variante Mutatá – UF4 En El Departamento De Antioquia.	Radicado 2025-1-002400-028402 ID 524362 del 15 de abril de 2025 – Respuesta a la solicitud de información bajo reunión virtual del proyecto

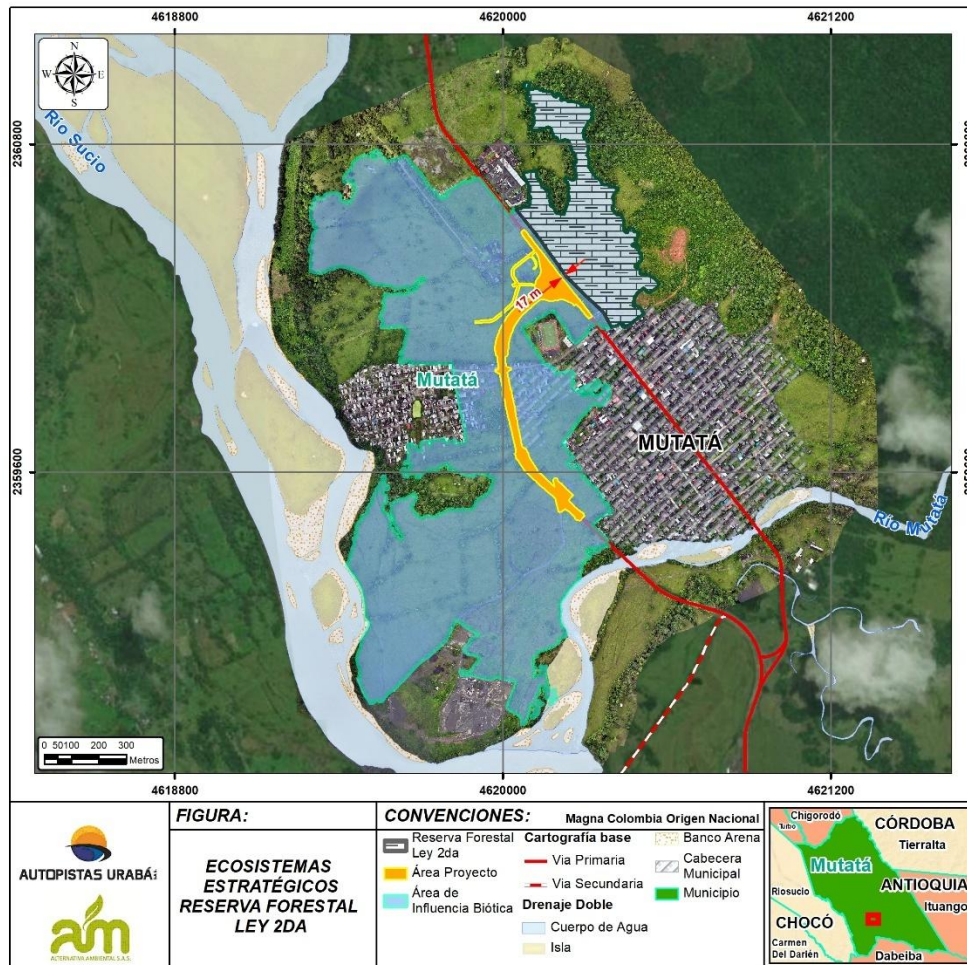
N°	Entidad	Tipo de solicitud	Radicación de solicitud
			<p>construcción variante Mutatá – UF4 (sobre la solicitud de procedencia o no de consulta previa)                      Respuesta Resolución número ST-0768 de 04 de junio de 2025 (ver Anexos_C2\ 2_1_Consultas_Entidades\ Mininterior/DANCP).</p>
		Solicitud de alcance a la certificación de determinación de procedencia y oportunidad de Consulta Previa MLA VARIANTE MUTATA UF4	<p>Radicado 2025-1-002410-072061 del 08 de septiembre de 2025 ID 607362.                      ver Anexos_C2\ 2_1_Consultas_Entidades\ Mininterior/Solicitud Alcance)</p>
8	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Solicitud de información y determinantes ambientales para el trámite de modificación de Licencia del Proyecto Vial Variante Mutatá.	<p>Respuesta al radicado de entrada No. 2025E1008344 del 18-02-2025. Solicitud de información y determinantes ambientales para el trámite de modificación de Licencia del Proyecto Vial Variante Mutatá.</p>

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.1.5 Identificación de áreas del SINAP y SIRAP, ecosistemas estratégicos y áreas ambientalmente sensibles

Después de realizar la correspondiente revisión en el visor del SIAC y del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, se evidenció que el área de Influencia Abiótica (AIA) la cual tiene inmersa el área de influencia biótica, de la presente modificación de licencia no se superpone con ningún ecosistema estratégico, áreas ambientalmente sensibles, distritos de manejo integrado, zonificación de manglares, y otros. Esta información se describe detalladamente en el ítem 5.2.1.3.3 del capítulo 5.2 Caracterización biótica.

No obstante, es importante aclarar que, el área de análisis correspondiente al área de influencia biótica se superpone con la Reserva Forestal, sin embargo, no se plantea realizar intervención alguna en esta área, debido a que el trazado del proyecto se encuentra por fuera del área protegida, finalizando su intervención en la intersección con la vía de la Ruta Nacional 6202.



**Figura 2.3 Reservas Forestales Protectoras ley 2 de 1959**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.1.6 Ubicación de otros proyectos en las áreas de influencia

Para identificar los proyectos que se superponen con el área de interés de la presente solicitud de licencia ambiental, se realizaron las siguientes verificaciones:

- Catálogo De Mapas SIAC, para la identificación de proyectos viales y redes de alta tensión.
- Herramienta "Acceso al Alma Minera de Colombia (ANNA)" de la Agencia Nacional de Minería, para la verificación de títulos mineros.
- Estudio de impacto ambiental para la "Construcción de la Variante Mutatá (UF4), para el proyecto Autopista al Mar 2" de 2019, para verificar los proyectos que ya se tenían identificados en el área de interés de la presente modificación.

Partiendo de lo anterior, el proyecto "Variante Mutatá (UF4)" presenta en sus áreas de influencia superposición con algunos proyectos, razón por lo que se hace necesario realizar un análisis, contemplando aquellos que cuentan con instrumento de control o licencia ambiental vigente, aprobado tanto por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales



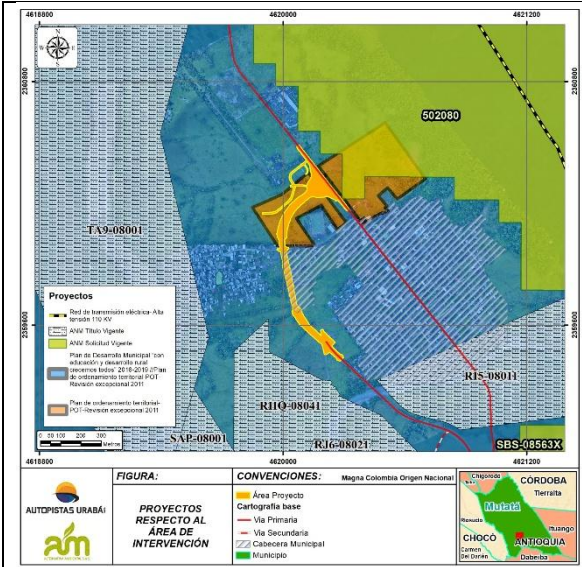
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"**



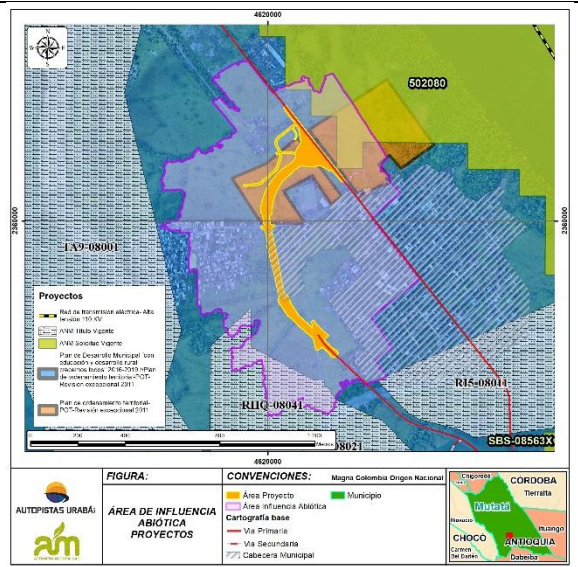
(ANLA) y/o la autoridad ambiental regional competente, que en el área de estudio corresponde a CORPOURABÁ, para eso se realizaron las solicitudes correspondientes, para lo cual se presenta dentro de la carpeta Anexos/Anexo\_C2/2\_1\_Consulta\_Entidades, la información correspondiente.

Este análisis tiene como propósito identificar posibles acuerdos de coexistencia y determinar si los proyectos son compatibles, complementarios o no presentan afectación mutua. Adicionalmente, permite establecer la posible existencia de impactos acumulativos o sinérgicos, que pudieran generar presiones adicionales sobre el medio ambiente.

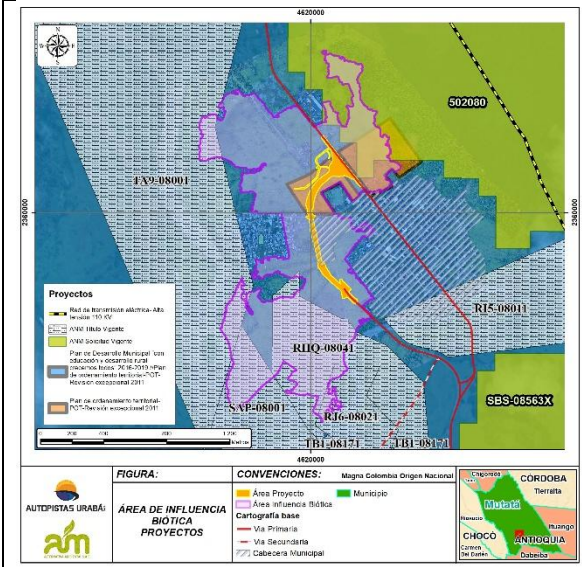
En concordancia con lo anterior, en la Figura 2.4 se presenta de forma gráfica los proyectos licenciados con respecto al área de intervención y las áreas de influencia definidas para cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico).



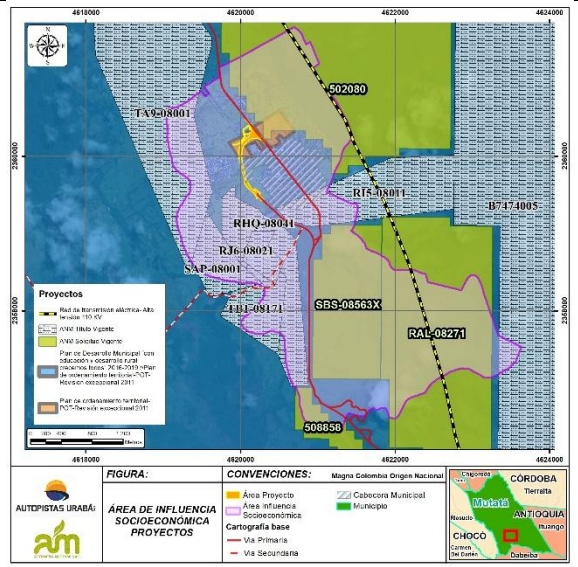
**Super posición de proyectos con el área de intervención**



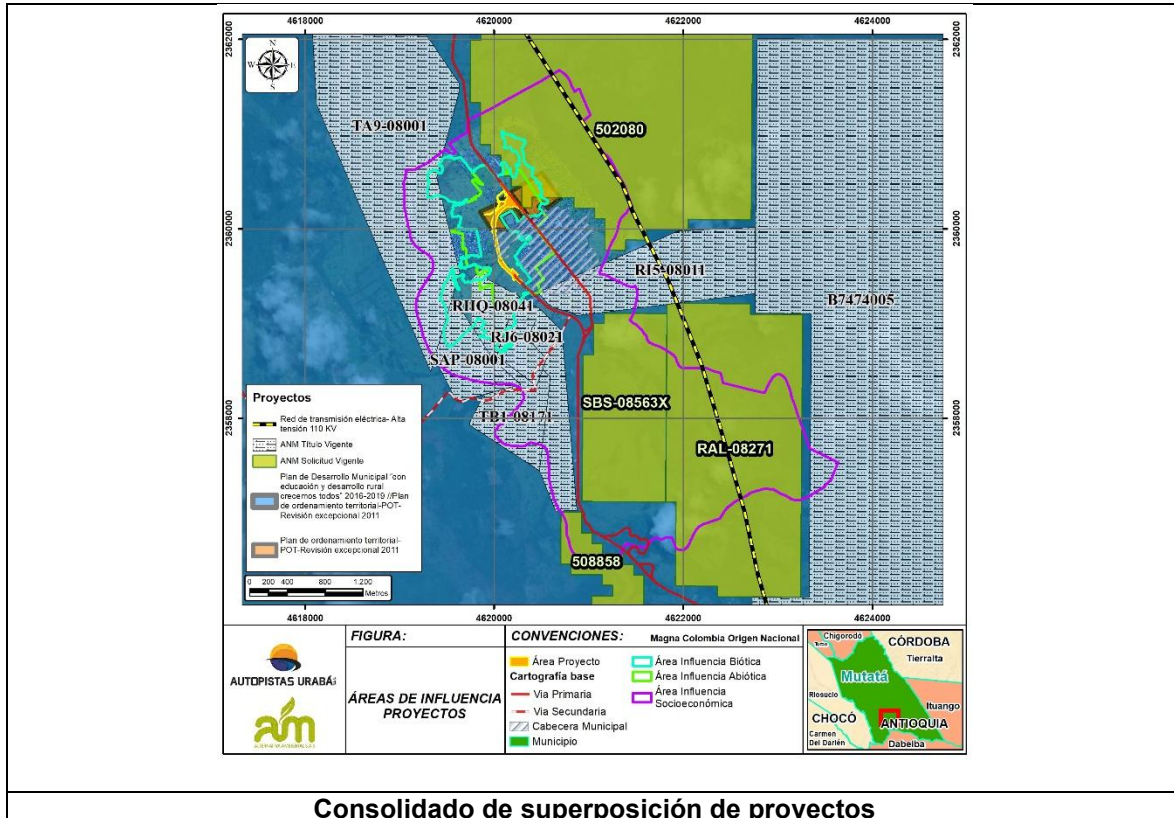
**Superposición de proyectos con el área de influencia abiótica**



**Superposición de proyectos con el área de influencia biótica**



**Superposición de proyectos con el área de influencia socioeconómica**



**Consolidado de superposición de proyectos**  
**Figura 2.4. Superposición de proyectos licenciados con respecto al área de intervención y áreas de influencia**  
 Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se presenta el consolidado de los proyectos identificados para el área de intervención y el área de influencia asociada a cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico).

**2.1.6.1 Análisis de superposición de proyectos con el área de intervención**

El área de intervención del proyecto “Variante Mutatá (UF4)” no presenta superposición con proyectos que cuenten con instrumento de manejo y/o control ambiental. No obstante, este se encuentra superpuesto sobre áreas denominadas como Plan de Desarrollo Municipal “con educación y desarrollo rural crecemos todos” 2016-2019 y Plan de ordenamiento territorial-POT-Revisión excepcional 2011, en donde se establece la planificación y administración del territorio, para Mutatá se constituyó una zona de expansión urbana, se delimitaron los cascos urbanos, entre otros. Lo anterior se realiza en ejecución de las siguientes líneas estratégicas del Plan de Desarrollo municipal:

1. Con desarrollo social crecemos todos.
2. Con desarrollo económico, productivo y rural crecemos todos.
3. Con desarrollo institucional crecemos todos
4. Con desarrollo ambiental crecemos todos.

No obstante, mediante la Resolución N° 380 del 10 de febrero de 2015, se declara de utilidad pública e interés social el Proyecto “Autopista al Mar 2”. Según el artículo 2, de dicha

resolución se considera de utilidad pública e interés social la franja de terreno identificada en el mismo y requerida para la rehabilitación, construcción, operación y mantenimiento del proyecto vial mencionado anteriormente.

Adicionalmente, se expide la Resolución N° 12613 de 2018 por medio de la cual se modifica la Resolución N° 380 del 10 de febrero de 2015 y se define la franja de terreno del proyecto, en cumplimiento del Artículo 57 de la Ley 1682 de 2013 y del Artículo 58 literal e) de la Ley 388 de 1997 referente a la declaratoria de utilidad pública e interés social. Se aclara que las modificaciones en las coordenadas y abscisas presentadas corresponden a los diseños Fase III de diciembre de 2017.

Cabe aclarar, que la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto "Variante Mutatá" no requiere de la gestión de predios adicionales a los contemplados dentro de la Resolución N° 1213 de 2018 (Ver Anexo\_2\_3\_Utilidad\_publica), conforme con lo estipulado en el numeral 19 del Acta de Declaratoria de la Ocurrencia de un Evento Eximente de Responsabilidad (EER). Las cédulas catastrales de los predios enmarcados en el área de influencia se presentan en la Tabla 2.13.

**Tabla 2.3 Folios de Matrícula Inmobiliaria de predios**

<b>Predio</b>	<b>Cédula catastral</b>	<b>Propietario</b>	<b>Uso actual del suelo*</b>	<b>Uso del suelo según POT</b>
CAM2-UF4-CMU-292	4802001000000300034000000000	Luis Eduardo Sierra Aguilar	Residencial y cultivos agrícolas transitorios	agro Ganadería
CAM2-UF4-CMU-294	4802001000000300016000000000	Rosalba Palacio Flórez	Residencial y cultivos agrícolas transitorios	agro Ganadería
CAM2-UF4-CMU-299	4802001000000300018000000000	Oscar Jaime Molina Mesa	agro Ganadería y forestal	agro Ganadería

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Adicionalmente, con el propósito de verificar la información de superposición de proyectos con respecto al área de influencia social (la cual contiene el área de intervención), se elevó la solicitud de información de proyectos que cuenten con instrumento de manejo y/o control aprobado por la Corporación, así como aquellos proyectos que actualmente se encuentren en trámite ante la Corporación Para el Desarrollo Sostenible del Urabá- CORPOURABA a través del radicado No. 200-34-01.59-5080 del primero de septiembre de 2025, ante lo cual, se obtuvo respuesta el 12 de septiembre de 2025, mediante el radicado 400-06-01-01-2241 en donde se enuncia la presencia en el territorio de los proyectos con licencia o instrumento ambiental expuestos en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Proyectos que cuentan con instrumento de manejo y/o control - CORPOURABA**  
**Concesiones de aguas**

<b>Razón social</b>	<b>Trámite</b>	<b>Uso</b>	<b>Municipio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Jaime de Jesús Ballesteros Loaiza	Concesión de aguas superficiales	Piscícola	Mutatá	-76.43	7.21
Autopistas de Urabá S.A.S.	Concesión de aguas superficiales	Doméstico	Mutatá	-76.42	7.22

<b>Concesiones de aguas</b>					
<b>Razón social</b>	<b>Trámite</b>	<b>Uso</b>	<b>Municipio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
China Harbour Engineering Company Limited Colombia	Concesión de aguas superficiales	Industrial	Mutatá	-76.43	7.23
Rosalba Palacios Flórez	Concesión de aguas superficiales	Pecuario	Mutatá	-76.43	7.23
Aguas Regionales S.A. E.S.P	Concesión de aguas superficiales	Abastecimiento Acueducto Municipal	Mutatá	-76.43	7.24
<b>Permiso de vertimiento</b>					
<b>Razón social</b>	<b>Trámite</b>	<b>Uso</b>	<b>Municipio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Autopistas de Urabá S.A.S.	Permiso de vertimiento	Agua Residual doméstica	Mutatá	-76.43	7.22
Autopistas de Urabá S.A.S.	Permiso de vertimiento	Agua Residual doméstica	Mutatá	-76.43	7.22
Autopistas de Urabá S.A.S.	Permiso de vertimiento	Agua Residual doméstica	Mutatá	-76.43	7.22
Autopistas de Urabá S.A.S.	Permiso de vertimiento	Agua Residual doméstica	Mutatá	-76.43	7.23
China Harbour Engineering Company Limited Colombia	Permiso de vertimiento	Agua Residual doméstica	Mutatá	-76.43	7.23
China Harbour Engineering Company Limited Colombia	Permiso de vertimiento	Agua Residual NO doméstica	Mutatá	-76.43	7.23
Districombustibles SAS	Permiso de vertimiento	Residual Industrial	Mutatá	-76.43	7.24
Autopistas de Urabá S.A.S.	Permiso de vertimiento	Residual industrial	Mutatá	-76.43	7.252
<b>Licencias Ambientales</b>					
<b>Razón social</b>	<b>Trámite</b>	<b>Tipo</b>	<b>Municipio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Agregados Mutatá S.A.S	Licencia Ambiental	Minería	Mutatá	-76.44	7.23
Consorcio Red Vial 2012	Licencia Ambiental	Minería	Mutatá	-76.43	7.23
SP Ingenieros	Licencia Ambiental	Minería	Mutatá	-76.43	7.22

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

No obstante, como limitantes en la información se evidencia que la ubicación se encuentra en coordenadas geográficas con dos cifras significativas, por lo cual, no son determinantes en la ubicación de los proyectos enunciados, de esta manera, se cruzó la información con respuestas previas por parte de la Autoridad en donde se entregó información con respecto a los usos y usuarios actuales y proyectados (Ver Capítulo 5.1. Caracterización del medio abiótico). A partir de esta se puede evidenciar que no hay superposición de permisos o

concesiones aprobadas o proyectadas con respecto al área de intervención del proyecto (Ver Figura 2.5).

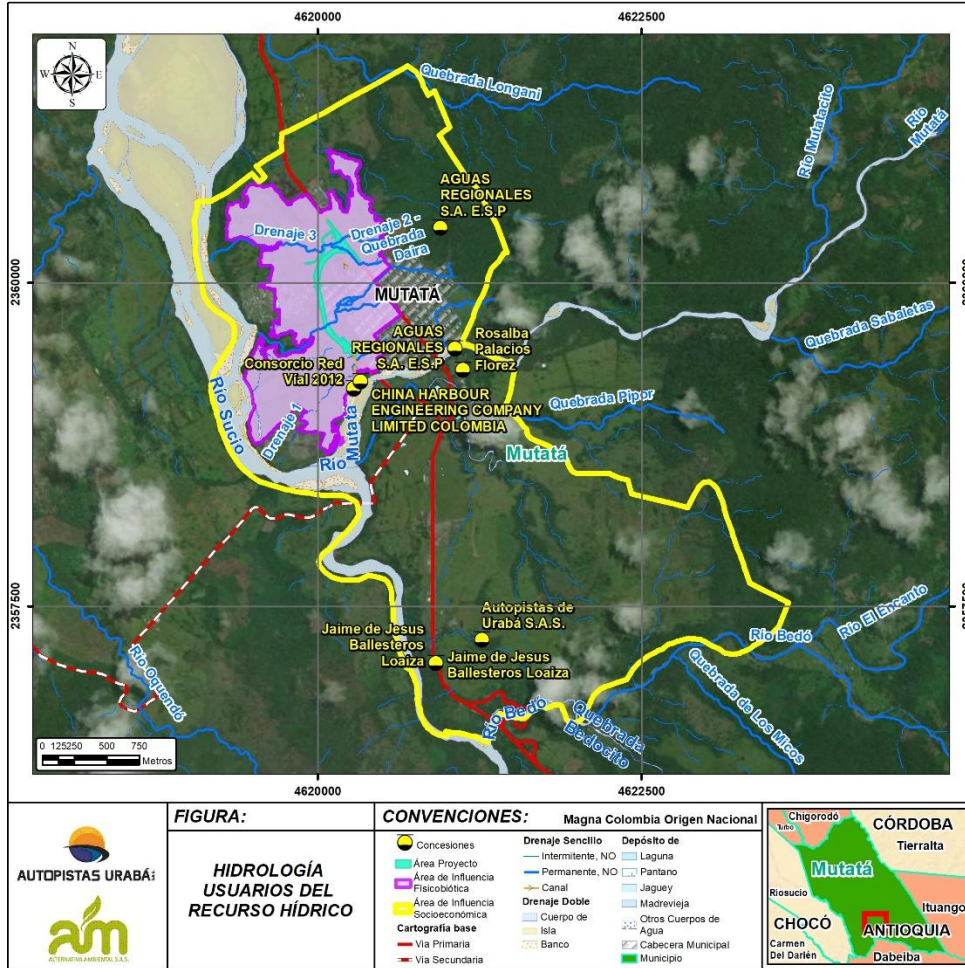


Figura 2.5 Usuarios del recurso hídrico presentes en la zona de interés

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Por otro lado, en cuanto a los títulos mineros en proceso de solicitud y vigentes, se contrastó la información de la Autoridad con respecto a la información extraída del Geovisor de la Agencia Nacional de Minería (ANNA Minería), en donde al igual que el anterior no se identificó superposición de los títulos con respecto al área de intervención del proyecto (Ver Figura 2.6).



**Figura 2.6. Títulos mineros con respecto al área de intervención**  
Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

De acuerdo con lo anterior, los proyectos más cercanos corresponden a una solicitud y un título vigente, donde el título vigente se encuentra en etapa exploratoria y cuenta con las especificaciones expuestas en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5. Título cercano al área de intervención**

Titular/Solicitud	Etapas	Expediente	Estado	Minerales	Clasificación
Pavimentar S. A	Exploración	RHQ-08041	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.1.6.2 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia abiótica

A partir de la información recopilada sobre los proyectos que cuentan con instrumentos de manejo y/o control ambiental, se identificó la existencia de superposición de los proyectos listados en la Tabla 2.6 con respecto al área de influencia abiótica.

**Tabla 2.6. Títulos mineros superpuestos con el área de influencia abiótica**

Titular/Solicitud	Etapas	Expediente	Estado	Minerales	Clasificación
John Fredy Idarraga Castaño	Exploración	RI5-08011	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Pavimentar S. A	Exploración	RHQ-08041	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Proyecto Andino SAS	Exploración	502080	Solicitud en evaluación	Arenas, gravas, minerales de cobre y sus concentrados, minerales de oro y sus concentrados	Mediana

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que dos (2) de los tres (3) proyectos identificados se encuentran en estado activo, no obstante, aún se encuentran en etapa exploratoria, por lo que la incidencia sobre el medio no es considerable con respecto a etapas más avanzadas, como la explotación.

### 2.1.6.3 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia biótica

A partir de la información recopilada sobre los proyectos que cuentan con instrumentos de manejo y/o control ambiental, se identificó la existencia de superposición de los proyectos listados en la Tabla 2.6 con respecto al área de influencia biótica.

**Tabla 2.7. Títulos mineros superpuestos con el área de influencia abiótica**

Titular/Solicitud	Etapas	Expediente	Estado	Minerales	Clasificación
Pavimentar S. A	Exploración	RJ6-08021	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Pavimentar S. A	Exploración	RHQ-08041	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Agregados Mutatá S.A.S	Explotación	TA9-08001	Activo	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, recebo	Mediana
Commodities De Antioquia S.A.S.	Exploración	SAP-08001	Activo	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, minerales de oro y sus concentrados, recebo	Pequeña
Proyecto Andino SAS	Exploración	502080	Solicitud en evaluación	Arenas, gravas, minerales de cobre y sus concentrados, minerales de oro y sus concentrados	Mediana

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que cuatro (4) de los cinco (5) proyectos identificados se encuentran en estado activo, no obstante, tres (3) de estos aún se

encuentran en etapa exploratoria, por lo que la incidencia sobre el medio no es considerable con respecto a etapas más avanzadas, como la explotación.

#### 2.1.6.4 Análisis de superposición de proyectos con el área de influencia socioeconómica

En el área de influencia socioeconómica se encuentran abarcadas las concesiones y los permisos de vertimientos enunciados con anterioridad, así como los títulos mineros y los títulos mineros expuestos en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8. Títulos mineros identificados dentro del área de influencia socioeconómica.**

Titular/Solicitud	Etapas	Expediente	Estado	Minerales	Clasificación
Minera Primecap Resources S.A.S.	Explotación	B7474005	Activo	Minerales de oro y sus concentrados, minerales de platino (incluye platino, paladio, rutenio, rodio, osmio) y sus concentrados	Mediana
John Fredy Idarraga Castaño	Exploración	RI5-08011	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Pavimentar S. A	Exploración	RHQ-08041	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
SP Ingenieros S.A.S	Exploración	TB1-08171	Activo	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, recebo	NA
Pavimentar S. A	Exploración	RJ6-08021	Activo	Arenas, arenas y gravas silíceas	Pequeña
Commodities De Antioquia S.A.S.	Exploración	SAP-08001	Activo	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, minerales de oro y sus concentrados, recebo	Pequeña
Agregados Mutatá S.A.S	Explotación	TA9-08001	Activo	Arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, recebo	Mediana
Proyecto Andino SAS	Exploración	502080	Solicitud en evaluación	Arenas, gravas, minerales de cobre y sus concentrados, minerales de oro y sus concentrados	Mediana

Titular/Solicitud	Etapas	Expediente	Estado	Minerales	Clasificación
Grupo De Bullet S.A.S.	NA	SBS-08563X	Solicitud en evaluación	Arenas, minerales de oro y sus concentrados, minerales de plata y sus concentrados, minerales de platino (incluye platino, paladio, rutenio, rodio, osmio) y sus concentrados	Mediana
Nacional De Metales SAS	YNA	RAL-08271	Solicitud en evaluación	Arenas, minerales de oro y sus concentrados, minerales de plata y sus concentrados, minerales de platino (incluye platino, paladio, rutenio, rodio, osmio) y sus concentrados	Mediana
Arenas y Gravas De Antioquia S.A.S.	Exploración	508858	Solicitud en evaluación	Arenas (de río), gravas (de río)	Pequeña

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

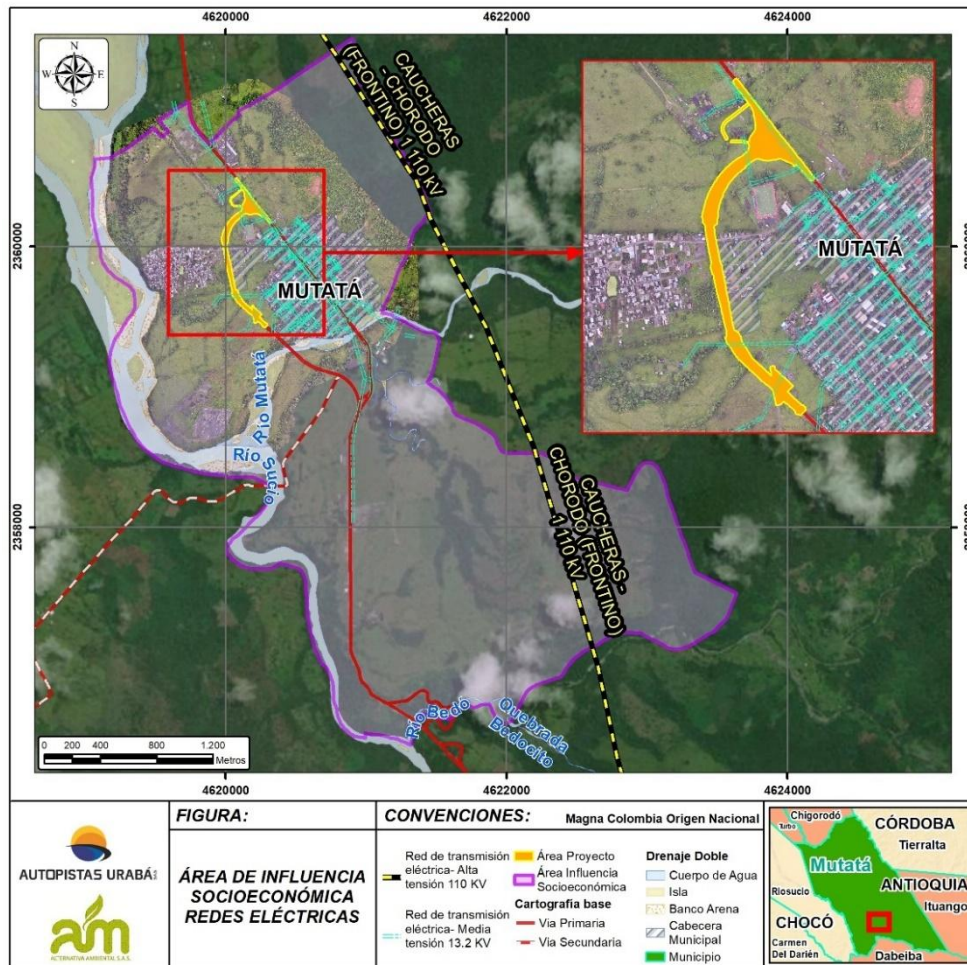
De acuerdo con la información recopilada, se identifican los títulos mineros expuestos por la Autoridad Ambiental mediante el radicado 400-06-01-01-2241 del 12 de septiembre de 2025, exceptuando la relacionada con el Consorcio Red Vial 2012. Sin embargo, de acuerdo con la información compilada en la Tabla 2.9, se encontró la presencia de la Ruta 6202 de la Unidad Funcional 4 del proyecto vial "Consorcio Al Mar 2", donde también está comprendida la "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)" de la presente modificación de licencia ambiental.

**Tabla 2.9. Proyecto vial**

Tipo	Nombre	Etapas	Vereda	Municipio	Observación
Vial	Ruta 6202 - Consorcio Al Mar 2	Operación	Mutatá	Mutatá	La Variante Mutatá hace parte de la UF4 del proyecto.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025.

Por último, se identificó la línea de Transmisión Chorodó-Caucheras a 110 kV para conexión de la Subestación Lagunas 110 kV que tiene una longitud aproximada de 21,69 km, iniciando desde la torre T71 (T80 existente en numeración de campo) del proyecto Línea de Transmisión Chorodó – Caucheras a 110 kV hasta llegar al pódico (T0) de las bahías de conexión a 110 kV y así garantizar la alimentación de la nueva subestación Lagunas. Lo anterior, por medio de estructuras triple circuito para conectar la nueva Subestación y dejar la disponibilidad de un futuro circuito Chorodó-Lagunas II 110 Kv operado por EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN E.S.P. El área de influencia socioeconómica se superpone 2,79 km con la red de alta tensión (Ver Figura 2.7).



**Figura 2.7 Red de alta tensión en el área de influencia socioeconómica**  
Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

Finalmente, una vez consolidada la información, se determinó que el área de intervención del proyecto no presenta superposición con otros proyectos que cuenten con instrumentos de manejo y/o control ambiental aprobados. Sin embargo, en las áreas de influencia de los tres medios (abiótico, biótico y socioeconómico) se identificó superposición con solicitudes o títulos mineros vigentes. Por otro lado, para el área de influencia socioeconómica además de la superposición con títulos mineros, se evidenció superposición con una línea de transmisión de 110 kV. Cabe señalar que, entre las limitaciones de la información disponible, no se tuvo acceso a los instrumentos ambientales de los proyectos identificados; en consecuencia, el análisis de impactos se efectuó considerando las interacciones previstas en el escenario sin proyecto. De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 8.82 se presenta el análisis relacionado con dicha superposición.

**Tabla 2.10. Análisis de superposición de proyectos**

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿ Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
<b>Área de intervención</b>	Plan de Desarrollo Municipal "con educación y desarrollo rural crecemos todos" 2016-2019 //Plan de ordenamiento territorial-POT-Revisión excepcional 2011	De acuerdo con la información recopilada, no se identificó superposición de proyectos que cuenten con instrumento de manejo y/o control aprobado por la autoridad con el área de intervención del proyecto.							
<b>Área de influencia abiótica</b>	Minería	No se afectan	Alteración de la geoforma del terreno	No se superponen impactos.	No	Sí	No	El impacto generado sobre la geoforma del terreno por parte del proyecto se encuentra puntualizada en el área de intervención, por lo cual, al no presentar superposición con proyectos mineros, no se prevé una superposición de impactos o afectación adicional.	Sí
			Alteración de las condiciones geotécnicas	No se superponen impactos.	No	Sí	No	El impacto generado sobre las condiciones geotécnicas del terreno por parte del proyecto se encuentra puntualizada en el área de intervención, por lo cual, al no presentar superposición con proyectos mineros, no se prevé una superposición de impactos o afectación adicional.	Sí



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
			Alteración a la calidad del suelo	No se superponen impactos.	No	Sí	No	El impacto generado sobre la calidad del suelo por parte del proyecto se encuentra puntualizada o se da de forma parcial en el área de influencia, por lo cual, no se prevé una afectación acumulativa.	Sí
			Alteración en la calidad del sedimento y del recurso hídrico superficial continental	No se superponen impactos.	Sí	No	No	La mayoría de las intervenciones mineras identificadas en el territorio se desarrollan sobre el río Sucio y el río Mutatá. Por tanto, si bien las actividades del proyecto generan alteraciones en el recurso hídrico superficial, se prevé que los aportes se concentren en los drenajes o cuerpos de agua cercanos a este. Por tanto, no se anticipa la generación de efectos combinados, toda vez que las alteraciones efectuadas o el aporte de contaminantes se disipa con relativa rapidez.	Sí
			Cambio en el patrón de drenaje superficial	No se superponen impactos.	Sí	Sí	No	La mayoría de las intervenciones mineras identificadas en el territorio se desarrollan sobre el río Sucio y el río Mutatá. Por tanto, si bien las actividades del proyecto generan alteraciones en el recurso hídrico superficial, se prevé que los aportes se concentren en los drenajes o cuerpos de agua cercanos a este. Por tanto, no se anticipa la	No



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
								generación de efectos combinados, toda vez que las alteraciones efectuadas o el aporte de contaminantes se disipa con relativa rapidez.	
			Alteración de la concentración de material particulado en el aire	Sí	No	Sí	Sí	Este impacto puede ser acumulativo teniendo en cuenta que los vehículos cargados con el material extraído transitan por la vía industrial, la cual se emplamará al proyecto vial. Lo anterior, puede derivar en aportes adicionales de material particulado, generando efectos acumulativos.	Sí
			Alteración de la concentración de gases en el aire.	Sí	No	Sí	Sí	Este impacto puede ser acumulativo teniendo en cuenta que los vehículos cargados con el material extraído transitan por la vía industrial, la cual se emplamará al proyecto vial. Lo anterior, puede derivar en aportes adicionales de gases, generando efectos acumulativos.	Sí
			Alteración en los niveles de presión sonora en la atmósfera	No se superponen impactos.	No	No	No	La alteración en la calidad acústica se considera un efecto transitorio, dado que, una vez finalizada la actividad, los niveles de ruido retoman casi de inmediato a sus condiciones de fondo. En este sentido, no se prevén efectos sinérgicos ni acumulativos.	Sí



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
			Alteración en la percepción visual del paisaje	No se superponen impactos.	No	Sí	No	La mayoría de las intervenciones mineras identificadas en el territorio se concentran en el río Sucio y el río Mutatá. En consecuencia, no se anticipan efectos sinérgicos, ni acumulativos sobre la percepción del paisaje, considerando que los títulos más próximos al área de intervención se encuentran en etapa exploratoria.	Sí
Área de influencia biótica	Minería	No se afectan	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	No se superponen impactos.	Sí	Sí	No	Las alteraciones sobre los ecosistemas y hábitats terrestres se prevén en las inmediaciones del área del proyecto; por lo tanto, no se estima la existencia de sinergias ni acumulación del impacto, dado que los proyectos en etapa de explotación se localizan principalmente sobre el río Sucio y el río Mutatá.	Sí
			Alteración a comunidades de flora	No se superponen impactos.	Sí	Sí	No	El impacto del proyecto sobre las comunidades de flora se encuentra localizado en el área de intervención, por lo que no se prevé una afectación sinérgica o acumulativa.	Sí
			Alteración a comunidades de fauna terrestre	Sí	Sí	Sí	Sí	Este impacto puede ser sinérgico y acumulativo teniendo en cuenta que los vehículos cargados con el material extraído transitan por la vía industrial, la cual se emplazará al proyecto vial. Lo anterior, puede derivar en alteraciones sobre la comunidad de fauna.	Sí



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
			Atropellamiento de fauna silvestre	Sí	Sí	No	Sí	Este impacto puede ser sinérgico teniendo en cuenta que los vehículos cargados con el material extraído transitan por la vía industrial, la cual se emplamará al proyecto vial. Lo anterior, puede derivar en atropellamientos de fauna.	Sí
			Alteración a ecosistemas y hábitats acuáticos	No se superponen impactos.	No	Sí	No	La mayoría de las intervenciones mineras identificadas en el territorio se desarrollan sobre el río Sucio y el río Mutatá. Por tanto, si bien las actividades del proyecto generan alteraciones en el recurso hídrico superficial, se prevé que los aportes se concentren en los drenajes o cuerpos de agua cercanos a este. Por tanto, no se anticipa la generación de efectos combinados, sobre los ecosistemas o hábitats acuáticos.	Sí
			Alteración a la hidrobiota incluyendo la fauna acuática	No se superponen impactos.	Sí	No	No	La mayoría de las intervenciones mineras identificadas en el territorio se desarrollan sobre el río Sucio y el río Mutatá. Por tanto, si bien las actividades del proyecto generan alteraciones en el recurso hídrico superficial, se prevé que los aportes se concentren en los drenajes o cuerpos de agua cercanos a este. Por tanto, no se anticipa la generación de efectos combinados, sobre la hidrobiota.	Sí



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
Área de influencia socioeconómica	Minería	No se afectan	Alteración en la dinámica poblacional	No se superponen impactos.	Ni	No	No	La incorporación de trabajadores se limita a la duración del proyecto. Por tanto, no se genera un incremento progresivo de la población local, por lo que no se prevé una sinergia o acumulación con respecto a las actividades mineras efectuadas en el área de influencia.	Sí
			Alteración de la accesibilidad y conectividad local	Sí	No	No	No	La dinámica del proyecto puede incidir sobre la actividad minera, teniendo en cuenta la conexión con la vía industrial, por donde transitan los vehículos cargados con material, no obstante, no se consideran sinérgicos, ni acumulativos, ya que los efectos sobre la accesibilidad y movilidad son temporales, localizados y de corta duración, limitándose al momento y lugar de ejecución de cada actividad.	Sí
			Alteración de las actividades económicas	Sí	No	No	No	La contratación de mano de obra y las actividades constructivas generan beneficios o alteraciones de manera temporal y controlada, y no incrementan de forma progresiva la afectación a otras actividades económicas.	Sí



AUTOPISTAS URABÁ S.A.S.

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN AUTOPISTA AL MAR 2"**



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Área de análisis	Actividad licenciada superpuesta	¿Los proyectos son compatibles, complementarios o no se afectan y de esta forma ambos pueden desarrollarse en todas sus fases?	Impactos asociados a la actividad	¿Es posible el desarrollo del proyecto en evaluación aún con los impactos superpuestos?	Sinérgico	Acumulativo	¿Se presentan impactos acumulativos y/o sinérgicos con respecto	Justificación	¿Existen medidas suficientes para el manejo de impactos ambientales?*
			Alteración en el uso socioeconómico del suelo	No se superponen impactos.	No	Sí	No	El impacto generado sobre el uso socioeconómico del suelo por parte del proyecto se encuentra localizada principalmente en el área de intervención, por lo cual, al no presentar superposición con proyectos mineros, no se prevé una superposición de impactos o afectación adicional.	Sí
			Generación de conflictos socioambientales	Sí	Sí	No	Sí	Este impacto puede presentar sinergismo en ambas actividades debido a inconformidades de la comunidad por alteraciones en los recursos intervenidos.	Sí
	Red de transmisión eléctrica – Alta tensión 110 kV	No se afectan	Generación de conflictos socioambientales	Sí	No	No	No	La red de transmisión corresponde a un proyecto previamente constituido; por tanto, sus efectos en la generación de conflictos no se consideran determinantes y no se prevé sinergia o acumulación con las actividades del proyecto	Sí

\*La información se encuentra relacionada con las medidas de manejo para el proyecto, ya que no se contaban con los instrumentos ambientales de los otros proyectos que permitieran validar dicha información.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025

### 2.1.7 Explotación de fuentes de materiales

Para efectos de la ejecución de las obras y actividades objeto de modificación de la licencia del proyecto "Variante Mutatá", no se tiene contemplada la explotación de nuevas fuentes de materiales de tipo cantera y/o aluviales, por lo cual, se gestionará con terceros que cuenten con la capacidad y con todos los requisitos legales que establece la normatividad. Esta información se describe detalladamente en el numeral 3.2.3.2.2 Fuentes de materiales, del capítulo 3. Descripción del proyecto.

### 2.1.8 Permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales

Para la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental de la modificación de licencia ambiental del proyecto "Variante Mutatá", se cuenta con el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales, otorgados mediante la Resolución 02372 de 2022, Resolución 02449 de 2024 y Resolución 02707 de 2024 de la empresa AM Alternativa Ambiental S.A.S., con NIT.900.388.558-8, los cuales fue utilizados para las caracterizaciones de flora y fauna del medio biótico, presentada en el capítulo 5.2 Caracterización biótica de la modificación de Licencia Ambiental del proyecto "Variante Mutatá (ver Tabla 2.11 (ver Anexo\_2\_2\_PIC).

**Tabla 2.11 Permiso de Colecta**

Componente	Fecha inicio muestreo	Fecha fin muestreo	Fecha activación permiso	Fecha de cierre	Permiso
Flora	13/12/2023	15/12/2023	2/10/2023	29/01/2024	Resolución 02372 de 2022
Fauna terrestre	13/01/2024	21/01/2024	2/10/2023	29/01/2024	
Comunicades hidrobiológicas	5/12/2024 21/01/2024	5/12/2024 21/01/2024	3/12/2024	20/02/2025	Resolución 02449 de 2024 y Resolución 02707 de 2024

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.1.9 Potenciales implicaciones del proyecto en relación con las políticas, planes, programas y proyectos a nivel nacional, departamental y municipal

El proyecto "Autopista al Mar 2" está enmarcado dentro del CONPES 3760 del Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, como proyectos viales bajo esquemas de Asociaciones Público-Privadas (APP) de la Cuarta Generación de Concesiones Viales (4G) o Autopistas para la Prosperidad.

Este proyecto se visiona como una estrategia de desarrollo económico, gracias a la articulación de Medellín con el Urabá Antioqueño en condiciones eficientes de movilidad, generando desarrollo a nivel local, regional y nacional; teniendo en cuenta la ubicación geoestratégica del Urabá, por su proximidad a Panamá y la posibilidad de conectar a Medellín con el océano Atlántico y Pacífico, siendo de esta manera un proyecto de interés nacional.

El proyecto vial "Autopista al Mar 2" se subdivide en seis (6) unidades funcionales. La unidad funcional 4 (UF4) contempla el proyecto "Variante Mutatá", la cual es el objeto del presente estudio ambiental y comprende el trayecto entre el municipio de Dabeiba hasta el municipio de Mutatá, departamento de Antioquia, como se detalla en la Tabla 2.12.

**Tabla 2.12 Unidades funcionales de la Concesión "Autopista al Mar 2"**

Unidad Funcional	Sector	Tipo de intervención	Longitud (Km)
1	Cañasgordas - Uramita	Mejoramiento calzada actual	30,50
2	Variante Fuemia (Uramita – Dabeiba)	Construcción	15,50
3	Túnel Fuemia	Construcción	2,20
4	Dabeiba - Mutatá	Mejoramiento de sitios puntuales y rehabilitación	50,50
5	Mutatá - El Tigre	Rehabilitación	46,20
6	El Tigre - Necoclí	Operación y Mantenimiento	109,00

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025, a partir de información suministrada por Autopistas Urabá S.A.S.

Mediante la Resolución N° 380 del 10 de febrero de 2015, se declara de utilidad pública e interés social el Proyecto "Autopista al Mar 2". Según el artículo 2, de dicha resolución se considera de utilidad pública e interés social la franja de terreno identificada en el mismo y requerida para la rehabilitación, construcción, operación y mantenimiento del proyecto vial mencionado anteriormente.

Adicionalmente, se expide la Resolución N° 12613 de 2018 por medio de la cual se modifica la Resolución N° 380 del 10 de febrero de 2015 y se define la franja de terreno del proyecto, en cumplimiento del Artículo 57 de la Ley 1682 de 2013 y del Artículo 58 literal e) de la Ley 388 de 1997 referente a la declaratoria de utilidad pública e interés social. Se aclara que las modificaciones en las coordenadas y abscisas presentadas corresponden a los diseños Fase III de diciembre de 2017.

Cabe aclarar, que la Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto "Variante Mutatá" no requiere de la gestión de predios adicionales a los contemplados dentro de la Resolución N° 1213 de 2018 (Ver Anexo\_2\_3\_Utilidad\_publica), conforme con lo estipulado en el numeral 19 del Acta de Declaratoria de la Ocurrencia de un Evento Eximente de Responsabilidad (EER. Las cédulas catastrales de los predios enmarcados en el área de influencia se presentan en la Tabla 2.13.

**Tabla 2.13 Folios de Matrícula Inmobiliaria de predios**

Predio	Cédula catastral	Propietario	Uso actual del suelo*	Uso del suelo según POT
CAM2-UF4-CMU-292	4802001000000300034000000000	Luis Eduardo Sierra Aguilar	Residencial y cultivos agrícolas transitorios	agro Ganadería
CAM2-UF4-CMU-294	4802001000000300016000000000	Rosalba Palacio Flórez	Residencial y cultivos agrícolas transitorios	agro Ganadería
CAM2-UF4-CMU-299	4802001000000300018000000000	Oscar Jaime Molina Mesa	agro Ganadería y forestal	agro Ganadería

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

## 2.2 ALCANCES

A continuación, se presentan los alcances y limitaciones del Estudio de Impacto Ambiental realizado para solicitar la modificación de licencia del proyecto "Variante Mutatá".

### 2.2.1 Alcance de la modificación de la licencia ambiental

Con la presente solicitud de modificación de Licencia Ambiental, se busca desarrollar las actividades descritas en el capítulo 3, ítem 3.2.2 Fases y actividades del proyecto, teniendo en consideración los lineamientos ambientales establecidos por las entidades gubernamentales para este tipo de actividad, priorizando las medidas de mitigación, corrección y compensación necesaria para el avance de las labores.

En tal sentido, el alcance involucra dimensionar y evaluar de manera cualitativa y cuantitativa, el impacto ambiental y socioeconómico efectuado sobre las áreas de influencias abiótica, biótica y socioeconómica definidas en el capítulo 4, de tal manera que se logre establecer el grado de afectación y vulnerabilidad de los ecosistemas y los contextos sociales.

Así mismo, el alcance implica plantear y definir las medidas para darle manejo a los impactos identificados, estableciendo un conjunto de estrategias, planes y programas que se ajusten al contexto de la zona de estudio.

En este orden de ideas, los alcances por capítulos se enumeran a continuación.

- **Capítulo 1. Objetivos:** Se establecieron los objetivos de la modificación de Licencia Ambiental, a partir de los antecedentes del proyecto, trámites asociados al proyecto y aspectos técnicos ambientales y constructivos de la obra para cada una de sus etapas.
- **Capítulo 2. Generalidades:** Se especificaron los alcances, antecedentes y metodologías que sustentan la veracidad de la información presentada en el presente estudio, para la evaluación por parte de la ANLA de la solicitud de modificación de licencia del proyecto Variante Mutatá.
- **Capítulo 3. Descripción del proyecto:** Este capítulo se desarrolló con base en la información de diseños enmarcada en la descripción detallada de las obras, dando cumplimiento a los términos de referencia para definir con base en esta información las áreas de influencia del proyecto.

- **Capítulo 4. Área de influencia:** El área de influencia se definió nuevamente de manera total para el medio abiótico, biótico y socioeconómico, mediante las respectivas unidades mínimas de análisis, de acuerdo con las características del área y posibles impactos identificados en cada uno de los componentes a evaluar; empleando la guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia generada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en el 2018.
- **Capítulo 5.1. Caracterización abiótica:** Los ítems de la caracterización abiótica, para el área de influencia de la modificación de Licencia Ambiental que coincidieron con el área de influencia aprobada mediante la resolución 01752 del 04 de septiembre de 2019 se corroboraron y se tomaron de dicho EIA, mientras que, para las áreas nuevas, se realizó todo el levantamiento de información secundaria y de línea base para cada uno de los componentes por desarrollar. En todo caso, cuando se identificó la necesidad de actualizar todo el componente como tal, esto se llevó a cabo.
- **Capítulo 5.2. Caracterización biótica:** Para el levantamiento de información correspondiente a flora y fauna se realizaron campañas de muestreo acorde a la metodología planteada en los términos de referencia y el permiso de colección de especímenes especificado en los antecedentes del presente capítulo.
- **Capítulo 5.3. Caracterización socioeconómica:** Se aprovechó información disponible del EIA aprobado mediante la Resolución 01752 del 04 de septiembre de 2019 y se realizaron los ajustes correspondientes asociados a la modificación de Licencia Ambiental y los procesos de socialización, en las cuales se citaron los grupos y actores relevantes para desarrollar el debido proceso de información. En cuanto al componente arqueológico, teniendo en cuenta los nuevos diseños, se desarrollaron las actividades y procesos ante el ICANH, con la correspondiente planeación del trabajo, exploración bibliográfica, diagnóstico arqueológico, salida de recolección de información primaria (prospección), procesamiento de la información de campo y entrega de informe final al ICANH.
- **Capítulo 5.4. Servicios ecosistémicos:** Se realizó la construcción del capítulo cumpliendo la metodología de estudios ambientales de 2018 y los términos de referencia para la elaboración de EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles.
- **Capítulo 6. Zonificación ambiental:** Se realizó la construcción del capítulo cumpliendo la metodología de estudios ambientales de 2018 y los términos de referencia para la elaboración de EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles.
- **Capítulo 7. Demanda de recursos:** Se realizó la solicitud de aprovechamiento forestal, para lo cual se desarrolló un inventario forestal al 100% y caracterización de flora epífita vascular y no vascular en las áreas de intervención indicadas anteriormente, para desarrollar los trámites necesarios para el cumplimiento de la normativa asociada. Así mismo, se realizó la solicitud del permiso de ocupación de cauce, se tramitó el permiso de recolección de especies de diversidad biológica para investigaciones científicas con fines no comerciales y finalmente se especificó la procedencia de los materiales de construcción para las obras asociadas al proyecto.

- **Capítulo 8. Evaluación Ambiental:** Se realizó la construcción del capítulo cumpliendo la metodología de estudios ambientales de 2018 y los términos de referencia para la elaboración de EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles.
- **Capítulo 9. Zonificación de Manejo Ambiental del proyecto:** Se realizó la construcción del capítulo con base en los resultados obtenidos de la zonificación ambiental del proyecto, cumpliendo la metodología de estudios ambientales de 2018 y los términos de referencia para la elaboración de EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles.
- **Capítulo 10. Evaluación Económica Ambiental:** El procedimiento para la valoración económica de los impactos ambientales siguió la ruta metodológica planteada en el Manual Técnico de Valoración Económica de Impactos Ambientales para la aplicación del Análisis Costo Beneficio-ACB ambiental, para ello se tomaron los resultados de la nueva evaluación ambiental del proyecto para la modificación de Licencia Ambiental.
- **Capítulo 11.** A partir de la información obtenida en los capítulos anteriores se desarrolló el Plan de Manejo Ambiental, Plan de Seguimiento y Monitoreo, Plan de Gestión del Riesgo, Plan de Desmantelamiento y Abandono y Plan de Compensación por Pérdida de Biodiversidad.

### 2.2.2 Limitaciones y/o restricciones del EIA

Durante la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la modificación de una licencia ambiental, es común enfrentar diversas limitaciones y restricciones, que pueden afectar tanto el proceso de evaluación como los resultados obtenidos. Entre los principales desafíos que se presentan, uno de los más significativos es la dificultad para acceder a información secundaria de calidad y actualizada, la cual es fundamental para la construcción de la línea base socioambiental del área de influencia del proyecto.

Estas limitaciones en el acceso a la información tienen varias implicaciones:

1. Dificultad para acceder a información actualizada.
2. Limitaciones en la calidad de los datos disponibles.
3. Restricciones en la recopilación de información primaria.

En resumen, la falta de acceso oportuno y completo a la información secundaria por parte de las instituciones responsables genera una de las principales limitaciones en el proceso de elaboración del EIA para la modificación de una licencia ambiental. Esta situación puede afectar la precisión y calidad de la evaluación de impactos, limitando la capacidad para identificar adecuadamente los riesgos ambientales y sociales asociados al proyecto y dificultando la planificación de medidas de mitigación apropiadas. Es crucial que las autoridades y las partes involucradas trabajen en mejorar la accesibilidad y la actualización de la información ambiental y socioeconómica para asegurar un proceso de evaluación más efectivo y riguroso. No obstante, se implementaron estrategias y metodologías que buscaron siempre permitir la recolección o análisis de la información requerida a lo largo del EIA.

## 2.3 METODOLOGÍAS

A continuación, se especifican las metodologías utilizadas para la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental para la solicitud de modificación de Licencia Ambiental del proyecto “Variante Mutatá”. se acogen los Términos de Referencia (TdR) para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos, adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0751 del 26 de marzo de 2015, así como la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2018.

A continuación, se realiza la descripción de cada una de las metodologías utilizadas para el desarrollo del proyecto.

### 2.3.1 Formulación y descripción del proyecto

La formulación del proyecto es llevada a cabo por la Concesión Autopistas Urabá S.A.S, responsable de definir las especificaciones técnicas, diseño trazado y obras de detalle necesarias para la modificación del proyecto vía variante Mutatá. Este proceso se basa en el cumplimiento de diversas normas y regulaciones nacionales, entre las cuales se incluyen el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INVIAS, adoptado mediante Resolución No. 000744 del 04 de marzo de 2009 del Ministerio de Transporte y guía de Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras – INVIAS, Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022. Además, de tener presente la Resolución 01752 de 2019 de la licencia ambiental proyecto “Variante Mutatá”. La descripción del proyecto se elabora conforme a los Términos de Referencia establecidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), específicamente los Términos de Referencia para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental para Proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos, adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0751 del 26 de marzo de 2015.

### 2.3.2 Áreas de influencia

Para la definición de las áreas de influencia abiótica, biótica y socioeconómica del proyecto, se utilizaron los términos de referencia para la elaboración de EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles, emitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los criterios establecidos en la guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia, emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en julio de 2018<sup>2</sup>. Asimismo, se aplicó la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales generada por la ANLA en 2018<sup>3</sup>. Estos lineamientos proporcionan un marco detallado y estructurado para identificar las áreas que podrían verse afectadas por las actividades del proyecto, tanto en términos físicos y biológicos como socioeconómicos.

Para llevar a cabo esta tarea, se realizó un contraste entre los componentes ambientales y socioeconómicos presentes en la zona del proyecto y los impactos ambientales potenciales identificados. Este análisis se desarrolló siguiendo la metodología de Conesa, la cual es

---

<sup>2</sup> (ANLA, 2018)

<sup>3</sup> (MADS, 2018)

ampliamente reconocida por su enfoque sistemático en la identificación y valoración de impactos ambientales. Esta metodología permite evaluar de manera integral cómo las diferentes fases del proyecto (construcción, operación y desmantelamiento) pueden afectar a los diversos componentes del medio ambiente y a las comunidades locales.

La identificación de las áreas hasta donde se manifestarán los impactos se delimita para los medios, componentes y/o grupos de componentes, siguiendo el esquema metodológico presentado en la Figura 2.8.

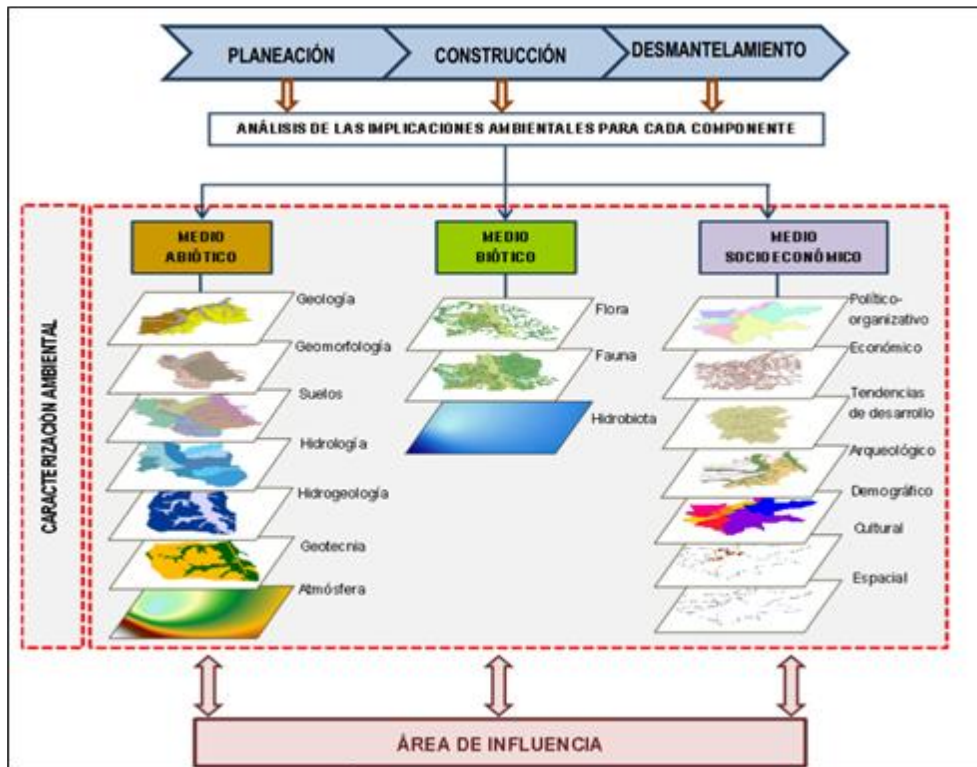


Figura 2.8 Definición de Área de Influencia por componentes

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2018.

Se sustentan las consideraciones técnicas de la definición, identificación y delimitación de las áreas de influencia, a partir del uso de recursos, la localización de las obras y actividades requeridas para el desarrollo del proyecto Variante Mutatá, en sus diferentes fases, en consideración de la interacción con los componentes socioambientales y extensión de la afectación.

Para la determinación del área de influencia final se partió de la definición de áreas de influencia preliminares para cada componente y/o grupo de componentes. Una vez realizados los muestreos y/o caracterizaciones en las áreas de influencia preliminar y la evaluación final de impactos, se realizaron diferentes geoprocесamientos, para delimitar las áreas de influencia definitivas cada componente y/o grupo de componentes. Posteriormente, se consolidaron las

áreas para obtener áreas de influencia de análisis por medio, y, finalmente, un área de influencia del proyecto para el Estudio de Impacto Ambiental.

A continuación, se describe de forma detalla la definición del área de influencia, la cual se desarrolló de acuerdo con el siguiente procedimiento:

### 2.3.2.1 Fase preliminar

**Consideraciones técnicas del diseño y ubicación de las actividades y/o obras objeto de licenciamiento.** A partir de los diseños y la localización de las obras en el territorio, se definió el área de intervención y su interacción con cada uno de los medios.

**Identificación de los impactos y unidades mínimas de análisis:** Luego de conocer la ubicación y el diseño de la infraestructura a emplazar, se realizó la identificación de los impactos y se definieron las unidades mínimas de análisis para cada componente y/o grupo de componente.

**Especialización de impactos (componente, grupo de componentes, medio):** Para la especialización de los impactos identificados de manera preliminar se aplicó el criterio de extensión empleado en la metodología de evaluación de impactos. Este criterio es entendido como el área de influencia teórica del impacto, o escala espacial o dimensión. De esta manera, para cada uno de los impactos se identificó el área donde se puede generar alteración del medio, tomando como referencia las unidades mínimas de análisis para cada componente y/o grupo de componente.

**Delimitación del área de influencia preliminar (componente, grupo de componentes, medio):** Una vez evaluados los criterios de espacialización, se delimitaron las áreas de influencia preliminares por componentes y medios mediante la utilización de geoprocесamientos.

### 2.3.2.2 Fase de análisis

**Caracterización del área de influencia preliminar (componentes y medios):** de acuerdo con los términos de referencia, se realizaron muestreos y/o caracterizaciones en cada uno de los componentes de los diferentes medios, en las áreas de influencia preliminares definidas.

**Análisis de información de la caracterización y evaluación ambiental de los medios abiótico, biótico y socioeconómico:** a partir de la información obtenida, levantada y/o verificada por el grupo interdisciplinario en el anterior paso, se analiza la información con el fin de ajustar y afinar in situ los límites del área de influencia preliminar, a partir del criterio seleccionado en cada medio y/o componente.

**Definición de área de influencia de análisis (componente, grupo de componentes, medio):** con base en los resultados del trabajo de campo, los resultados de los monitoreos, modelaciones, de la evaluación de impactos y de la determinación de la significancia de estos, se realizó un proceso iterativo, que permitió ajustar las áreas de influencia preliminares, obteniendo áreas de influencia definitivas por componente, grupos de componentes, medios para el proyecto. Para el análisis y procesamiento de información geográfica se utilizó ArcGIS como software de apoyo.

**Definición del área de influencia final:** Para la definición de esta área se superpusieron las áreas de influencia definitivas obtenidas para cada uno de los medios, dando como resultado el área de influencia del EIA.

Las unidades mínimas de análisis y los criterios considerados para la definición del área de influencia por cada uno de los medios se describen a continuación en la Tabla 2.14,

**Tabla 2.14 Unidades mínimas de análisis por medio y componentes**

Medio	Componente / Grupo de componentes	Unidad mínima de análisis	Criterios de delimitación
Abiótico	Suelos y usos de la tierra	Unidades de cobertura vegetal	Las afectaciones sobre el suelo y usos del suelo principalmente por actividades de construcción del corredor vial, construcción de obras, montaje de instalaciones y remoción de cobertura se proyectan de manera puntual en el área de intervención.
	Hidrología	Cuencas y microcuencas hidrográficas	En el área del proyecto se identificaron 3 cuerpos de agua lóticos, los cuales corresponden a Drenaje 1. Drenaje 2 y Drenaje 3. Además de cuerpos lenticos como jagueyes.
	Calidad del agua y usos del agua	Tramo de drenajes y cuerpos de agua intervenidos	Sobre los cuerpos de agua Drenaje 2 (D2) y Drenaje 3 (D3) y el jaguey (JY) se proyectan ocupaciones de cauce debido a obras hidráulicas menores, por lo cual la afectación de las actividades se considera de manera puntual sobre el área.
	Atmósfera	Área perimetral en función de la dirección predominante del viento y receptores sensibles.	Se considera la afectación del componente en cuanto a calidad del aire y ruido, en el área de intervención donde se realizarán las actividades que puedan generar emisión de material particulado o ruido.
	Paisaje	Cuencas visuales	Una vez analizadas las cuencas visuales y obtenida la caracterización del componente donde se definieron las unidades de paisaje y sus características, se considera que la delimitación de los impactos va en función de afectaciones locales y se seleccionaron elementos que marcaran límites biofísicos como

Medio	Componente / Grupo de componentes	Unidad mínima de análisis	Criterios de delimitación
			drenajes, vías e infraestructura existente.
Biótico	Ecosistemas terrestres - Flora y fauna	Unidades de coberturas vegetales	Coberturas vegetales y cuerpos de agua superficiales que fueron identificados en la zona, de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.
	Ecosistemas acuáticos	Tramo de drenajes y cuerpos de agua intervenidos.	En el área del proyecto se identificaron 3 cuerpos de agua lóticos, los cuales corresponden a Drenaje 1. Drenaje 2 y Drenaje 3. Además de cuerpos lenticos como jagueyes. Sobre los cuerpos de agua Drenaje 2 (D2) y Drenaje 3 (D3) y el jaguey (JY) se proyectan ocupaciones de cauce debido a obras hidráulicas menores, por lo cual la afectación de las actividades se considera de manera puntual sobre el área.
Socioeconómico	Demográfico	Unidades territoriales	Se consideraron las unidades territoriales que son susceptibles de ser impactadas por las obras o actividades del proyecto.
	Espacial		
	Económico		
	Cultural		
	Político-organizativo		

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

En términos generales, las áreas de influencia del proyecto están definidas como el espacio físico en el que los medios abiótico, biótico y socioeconómico son afectados o alterados directa o indirectamente por las actividades desarrolladas en la zona de estudio, considerando el escenario más crítico, con el fin de garantizar que se incluya la extensión completa de las áreas impactadas, de conformidad con lo presentado en la evaluación ambiental “*Capítulo 8 Evaluación de Impactos*” del presente Estudio de Impacto Ambiental para la modificación de licencia ambiental del proyecto.

### 2.3.3 Caracterización del área de influencia

#### 2.3.3.1 Medio abiótico

##### 2.3.3.1.1 Geología



Para la caracterización del componente, se llevaron a cabo las siguientes actividades, organizadas por etapas:

#### A. Etapa Pre-campo

Previamente a las actividades de campo, se realizó revisión de la información presentada en el estudio de impacto ambiental de la licencia Resolución 01752 de 2019 de la licencia ambiental proyecto "Variante Mutatá", además de efectuó una búsqueda exhaustiva de información secundaria en el portal Servicio Geológico Colombiano (SGC). Además, se recopiló información sobre las fuentes sísmicas presentes en la región, mediante la base de datos del USGS, la Red Sismológica Nacional de Colombia y la plataforma DesInventar, en donde se filtraron lo sismos ubicados a menos de 25 km alrededor de la zona de estudio, lo cual es crucial para el análisis y evaluación del área.

#### B. Etapa de campo

El trabajo de campo fue realizado durante los días 8 y 9 de noviembre de 2024, y se basó en recorridos entorno al área de intervención proyectada para el trazado vial y sus alrededores, con el fin de verificar los mapas preliminares y realizar el levantamiento de información primaria. Este se realizó para verificar las unidades de geología local y superficiales, apoyándose en la información disponible en los estudios regionales mencionados anteriormente.

#### C. Etapa de análisis

Para la geología regional, se fundamenta en información litológica y estructural derivada del Mapa Geológico de Antioquia 1999, a escala 1:400.000, y de la plancha 103 escala 1:100.000 elaborados ambos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Con respecto a las unidades geológicas local, se utilizó información secundaria disponible proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano, complementada con observaciones realizadas durante la visita de campo. Este enfoque permitió la generación de salidas cartográficas, descripciones de unidades, estratigráficas y clasificaciones de características de acuerdo con el modelo de almacenamiento de información geográfica.

##### 2.3.3.1.2 Geomorfología

Para la caracterización del componente, se llevaron a cabo las siguientes actividades, organizadas por etapas:

#### A. Etapa de pre-campo

La clasificación de las unidades geomorfológicas se desarrolla a partir de la jerarquización que presenta el Servicio Geológico Colombiano (SGC) para la cual, las categorías definidas de escala menor a mayor son: Geomorfoestructuras, provincias, regiones, unidades, subunidades y componente geomorfológico.

### ESQUEMA DE JERARQUIZACION GEOMORFOLOGICA



Figura 2.9 Esquema de jerarquización geomorfológica  
Fuente: SGC 2012.

El análisis se centró en la información secundaria relacionada con estudios geomorfológicos, abarcando principalmente estudios topográficos, geológicos, estructurales y geotécnicos realizados por entidades públicas como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Además, se utilizó información presentada en el estudio de impacto ambiental de la licencia Resolución 01752 de 2019 de la licencia ambiental proyecto "Variante Mutatá" fuente de estudios previos en la zona.

#### B. Etapa de campo

En esta etapa se llevaron a cabo trabajos de campo realizados durante los días 8 y 9 de noviembre de 2024, recorridos entorno al área de intervención proyectada para el trazado vial y sus alrededores para la caracterización de los elementos geomorfológicos, geológicos y morfodinámicos. Se identificaron procesos morfodinámicos activos a través de observaciones directas y verificaciones in situ, para verificar las condiciones actuales del terreno, incluyendo la presencia o la ausencia de indicadores de procesos erosivos y de deslizamientos y se documentaron con fotografías de las características más relevantes del área de influencia.

#### C. Etapa de análisis

Para definición y análisis de las unidades geomorfológicas del área de influencia se acogió el Mapa Geomorfológico aplicado a movimientos en masa de la plancha 1103-Mutatá a escala 1:100.000 de Servicio Geológico Colombiano (SGC).

##### 1. Pendientes

Con respecto al análisis de pendientes del área de influencia, se determinó mediante un modelo digital del terreno (DTM), acogiendo los rangos de pendientes son establecidos de acuerdo con las categorías de IGAC y la GDB de la ANLA, y sus valores se presentan en la Tabla 2.15.

**Tabla 2.15 Calificación del factor morfometría**

Valor de la pendiente	Nomenclatura
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: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

### II. Análisis multitemporal de procesos morfodinámicos

Para el análisis multitemporal de procesos morfodinámicos se observaron fotografías satelitales de distintos años y fuentes, como se muestra en la Tabla 2.16, cubriendo un rango de 12 años con buena resolución de detalle para la escala trabajada en este componente (1:10.000).

**Tabla 2.16 Imágenes satelitales usadas para el análisis multitemporal**

Fuente	Año
Cartoantioquia <sup>4</sup>	2012
Landsat/Copernicus <sup>5</sup>	2020
Maxar Technologies <sup>6</sup>	2021
Ortofoto elaboración propia	2024

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

### III. Procesos morfodinámicos

La cartografía de procesos morfodinámicos se realiza a partir de información primaria levantada en campo y sensores remotos, en escala 1:10.000 para los elementos de tipo polígono, y para los procesos que se encuentran por debajo del área mínima cartografiable se presentan como elementos puntuales.

### IV. Susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa

El análisis de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa del área de influencia se realizó siguiendo la metodología del SGC<sup>7</sup>. En esta metodología se integran diversos factores condicionantes como geología, geomorfología, coberturas de la tierra, pendiente y curvatura del plano, utilizando operaciones por celdas con álgebra de mapas y pesos ponderados. El resultado es un mapa de susceptibilidad con tres niveles: baja, media y alta.

Inicialmente se llevó a cabo una categorización global del peso de los factores; luego se procedió a clasificar las distintas clases dentro de cada factor condicionante, asignándoles valores según la sensibilidad asociada a cada variable, y la ponderación de estas según su peso asignado (ver Tabla 2.17 y Tabla 2.18), se hicieron aproximaciones conceptuales sobre la sensibilidad del suelo

<sup>4</sup> (Gobernación de Antioquia, 2012)

<sup>5</sup> (LANDSAT/Google Earth, 2020)

<sup>6</sup> (ESRI, Maxar Technologies, 2021)

<sup>7</sup> (Dirección de Geoamenazas, Servicio Geológico Colombiano, 2017)

en relación con los fenómenos de remoción en masa. La susceptibilidad de cada variable y el resultado final se determinó mediante un método heurístico, es decir, basado en la experiencia del profesional o del equipo que evalúa la susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa. El resultado final puede considerarse como un indicador preliminar de la resistencia del suelo.

**Tabla 2.17 Pesos asignados a los factores condicionantes**

<b>Factor</b>	<b>Peso (W) [%]</b>
Geología	15,00
Geomorfología	20,00
Cobertura	20,00
Pendiente	35,00
Curvatura del plano	10,00
Total	100,00

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

**Tabla 2.18 Valores asignados a las clases de cada factor**

<b>Categoría</b>	<b>Valor</b>
<b>Coberturas</b>	
Áreas deportivas	1
Tejido urbano continuo	1
Tejido urbano discontinuo	1
Zonas industriales o comerciales	1
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1
Pastos limpios	2
Pastos enmalezados	2
Bosque de galería y ripario	1
Cuerpos de agua artificiales	1
Parques cementerio	1
Plantación forestal	1
<b>Geomorfología</b>	
Terraza de acumulación	1
Escarpe de terraza	3
Planicie o llanura de inundación	1
Laguna	1
Meandro abandonado	1
Planos y campos de llenos antrópicos	1
Jagüey	1
<b>Geología</b>	
Depósitos aluviales recientes	1
Depósitos de terraza	1
<b>Pendiente</b>	
0-1%	1
1-3%	1
3-7%	1
7-12%	2
12-25%	2
25-50%	3

Categoría	Valor
50-75%	4
75-100%	5
>100%	5
<b>Curvatura del plano</b>	
Plano	1
Cóncavo	2
Convexo	3

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

De esta manera, se halla un valor de susceptibilidad mediante los valores y sus pesos ponderados, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Susceptibilidad\ MM = \sum_{i=1}^n Factor_i * W_i$$

Otra variable que se incluye en el análisis son los procesos erosivos y de remoción en masa que se hayan identificado en el análisis multitemporal. Como en este caso no se encontraron procesos de este tipo, esta variable no fue tomada en cuenta para este análisis.

#### V. *Susceptibilidad a inundaciones*

La metodología descrita en los lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del agua<sup>8</sup> define las áreas susceptibles a inundaciones mediante el análisis de las unidades de geomorfología fluvial. En este contexto, como primera aproximación a la susceptibilidad a inundaciones del área de influencia, se consultaron las unidades de ambiente fluvial identificadas en el presente estudio. Adicionalmente, en el inventario de procesos morfodinámicos realizado permitió identificar una zona específica con sedimentación activa y para delimitar con mayor detalle las zonas se consulta el Acuerdo No. 011 de 2016 por medio del cual se hace un ajuste al POT del municipio de Mutatá<sup>9</sup>.

Con base en el análisis realizado, se delimitaron las zonas con tres niveles: alta, media y baja susceptibilidad a inundaciones en el área de estudio.

#### 2.3.3.1.3 Paisaje

El paisaje es una porción de espacio geográfico, homogéneo en cuanto a su fisionomía y composición, con un patrón de estabilidad temporal resultante de la interacción compleja de clima, rocas, agua, suelo, flora, fauna y el ser humano, que es reconocible y diferenciable de otras porciones vecinas de acuerdo con el análisis (resolución) espaciotemporal específico<sup>10</sup>.

Para la caracterización y análisis del componente del paisaje del proyecto, se tuvo en cuenta las características físico-bióticas que componen sus unidades, la interacción, los flujos y la incidencia de los usos del territorio. De esta manera, el paisaje se considera como una superficie

<sup>8</sup> (IDEAM, 2013)

<sup>9</sup> (Concejo Municipal de Mutatá, 2016)

<sup>10</sup> (Etter, 1991)

heterogénea, constituida por un conjunto de ecosistemas que contienen ciertos atributos estructurales y funcionales que definen un tipo de paisaje.

#### A. Etapa pre-campo

##### *I. Revisión de información base*

Esta actividad consiste en recolectar la información necesaria para iniciar el análisis del componente paisaje, la cual debe dar cuenta de las características propias y diferenciadas del área de interés. Se utiliza información generada mediante la interpretación de las coberturas vegetales, la determinación de unidades geomorfológicas y la localización específica del proyecto (ubicación geográfica e infraestructura).

De manera preliminar se construyen las unidades de paisaje por medio del uso de herramientas como el Sistema de Información Geográfica (SIG), en donde se realiza el cruce y superposición de las capas de las unidades geomorfológicas determinadas y la capa de coberturas clasificadas, utilizando la leyenda nacional de coberturas de tierra del IDEAM. Como resultado de esta superposición, se obtiene el mapa preliminar de las unidades de paisaje para el área de influencia.

Con el mapa preliminar de unidades del paisaje se ubican los ríos, quebradas, centros poblados, vías, senderos y caminos para la definición de los puntos de observación y posibles rutas de acceso. Los puntos de observación hacen referencia a las unidades del paisaje; sin embargo, durante el desarrollo del trabajo de campo, el observador debe estar atento a la posible inclusión de otros puntos no identificados en la cartografía.

#### B. Etapa campo

Para esta fase se realizó un (1) recorrido en la totalidad del área de interés, con el fin de abarcar los puntos de observación que corresponden a las unidades del paisaje previamente identificadas y demás puntos de interés. Adicionalmente, se registran factores visibles que afectan la dinámica de la unidad de paisaje evaluada, así como elementos bióticos y abióticos perceptibles, la infraestructura y actividades antrópicas.

Adicionalmente, durante el segundo momento de socialización se realiza una encuesta acerca de la percepción social del paisaje (ver Anexos\_C5\_1/ 5\_1\_3\_Paisaje), en la cual se abordan los siguientes aspectos:

- Sitios de interés paisajístico natural.
- Sitios de interés paisajístico de tipo histórico y cultural.
- Sitios de interés económico y recreativo.
- Percepción de cambios en el paisaje en los últimos 10 años.

#### C. Etapa análisis

##### *I. Unidad de paisaje*

La caracterización del componente paisaje se realizó a partir del análisis de la información generada en los componentes geomorfología y coberturas, en un análisis conjunto de los atributos de geformas y coberturas de la tierra, complementado con la información recolectada en campo. Con esta información se procede a desarrollar la cartografía correspondiente a escala

1:10.000, relacionando las unidades geomorfológicas y las coberturas de tierra del área de influencia, obteniendo las unidades de paisaje mediante una unidad fundamental denominada "unidad de paisaje local" (nomenclatura UP), que resulta de la unión de estos dos insumos.

Adicionalmente, se realizó un análisis del paisaje con base en los siguientes atributos:

*II. Análisis de visibilidad del paisaje*

El análisis de visibilidad partió del concepto de cuenca visual de la metodología de Aguiló<sup>11</sup>, que se define como el área en que las unidades de paisaje son visibles y que con frecuencia corresponden a morfologías de cuencas. Estas áreas se determinaron a partir de un modelo de SIG procesando los datos de elevación del terreno disponibles, a partir de dos métodos. Primero, modelos de visibilidad en el software ArcMap utilizando como insumo principal un modelo digital de terreno (MDT) (Figura 2.10), y segundo, a partir de categorías que corresponden a la visibilidad de las coberturas y unidades geomorfológicas definidas según sus características e intervenciones antrópicas, para así acotar el área de visibilidad ajustada a la realidad combinada con las evidencias recolectadas en las etapas de campo, donde se tienen en cuenta elementos que pueden obstaculizar la visión del área de intervención, ya sea vegetación o elementos antrópicos sobre el terreno.



**Figura 2.10 Modelo de elevación del terreno**

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2021.

Asimismo, se realizó un modelo de visibilidad para el área de intervención, donde los puntos de observación se localizaron con base en zonas de fácil acceso y tránsito para la población, en tejidos urbanos, vías, e incluso en puntos altos desde los que se pueda observar la intervención. La cuenca visual no toma en cuenta los elementos que obstaculizan la visibilidad, ya que el insumo es un modelo de elevación y no un modelo de superficie, para lo cual se acotan las áreas

<sup>11</sup> (Aguiló M, 1981)

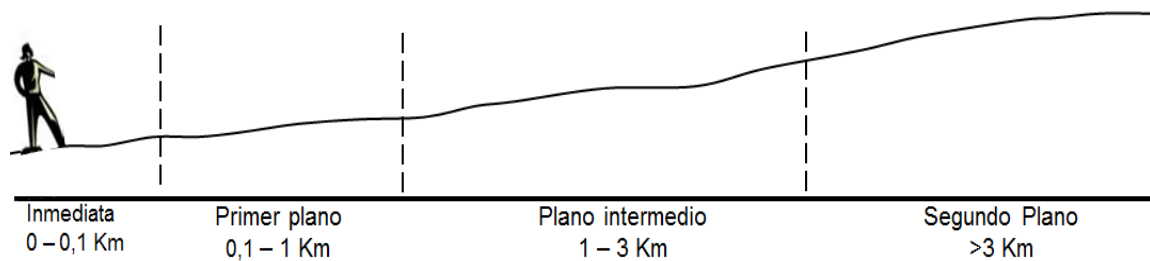
teniendo como base las coberturas vegetales, delimitando así el área de influencia del componente.

Las unidades de paisaje se agruparon en categorías según las distancias a las que se pueden percibir las características que contribuyen a la calidad visual que las componen (vegetación, geomorfología, presencia de agua, color, fondo escénico, rareza, actuación humana). A partir de esta base, se realizó una clasificación de escala visual para cada unidad de paisaje del proyecto, cuya descripción general se resume en la Tabla 2.19 y se ilustra en la Figura 2.11.

**Tabla 2.19 Categorías de escala visual**

Escala visual	Escala visual según GDB ANLA	Distancia (Km)	Descripción
Inmediata	Inmediata	0-0,1	En esta categoría se encuentran unidades de paisaje que son apreciables a una distancia inmediata, donde todos los atributos son percibidos y valorados por el observador del paisaje
Cercana	Primer plano	0,1-1	Estas unidades de paisaje presentan características que son visibles de manera cercana, en donde cada uno de sus elementos o atributos son valorados por los observadores del paisaje
Media	Plano intermedio	1-3	Las unidades en esta categoría exhiben características comunes, que se asocian con contrastes cromáticos y recurso hídrico, que pueden ser percibidos a medianas distancias de visualización y elevan el interés visual y el atractivo escénico de los elementos de estas unidades de paisaje
Lejana	Plano lejano	>3	En esta categoría se encuentran unidades de paisaje que son apreciables a una distancia lejana. Por ejemplo, las coberturas vegetales de gran altura o las geoformas más contrastantes pueden ser percibidas desde lejos.

Fuente: Modificado de Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales, 2020.



**Figura 2.11 Escala visual**

Fuente: Modificado de Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales, 2020.

La escala visual asignada a las unidades de paisaje tuvo en cuenta las distancias definidas en la Tabla 2.19, así como la altura de los elementos de vegetación presentes en éstas.

*III. Análisis de calidad visual del paisaje*

Una vez definidas las unidades de paisaje del proyecto, se evaluó la calidad visual de cada una a partir del método indirecto del Bureau of Land Management<sup>12</sup>, que asigna un puntaje a cada componente según los criterios de valoración que se presentan en la Tabla 2.20, y la suma de estos puntajes determina la calidad visual en comparación con una escala de referencia (ver Tabla 2.21).

**Tabla 2.20 Criterios para la evaluación de la calidad visual**

Componente	Criterios de valoración y puntuación		
Morfología	Relieve muy montañoso, marcado y prominente (acantilados, agujas, grandes formaciones rocosas); o bien relieve de gran variedad superficial o muy erosionado, o sistemas de dunas, o bien presencia de algún rasgo muy singular y dominante (5)	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes, pero no dominantes o excepcionales (3)	Colinas suaves, fondos de valle planos, pocos o ningún detalle singular (1)
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas y distribución interesante (5)	Alguna variedad en la vegetación, pero sólo uno o dos tipos (3)	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación (1)
Agua	Factor dominante en el paisaje, limpia y clara, aguas blancas (rápidos y cascadas) o láminas de agua en reposo (5)	Agua en movimiento o reposo, pero no dominante en el paisaje (3)	Ausente o inapreciable (0)
Color	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables (5)	Alguna variedad e intensidad en los colores y contrastes, pero no actúa como elemento dominante (3)	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados (1)
Fondo escénico	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual (5)	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual en el conjunto (3)	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto (0)
Rareza	Único o poco corriente o muy raro en la región, posibilidad de contemplar fauna y vegetación excepcional (6)	Característico, aunque similar a otros en la región (2)	Bastante común en la región (1)

<sup>12</sup> (Bureau of Land Management, United States Department of Interior , 1980)

Componente	Criterios de valoración y puntuación		
Actuación humana	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual (2)	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual (0)	Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica (-)

Fuente: Modificado de Bureau of Land Management, 1980.

**Tabla 2.21 Clases utilizadas para evaluar la calidad visual**

<b>Clase A</b>	Áreas de calidad alta. Características excepcionales para cada aspecto considerado (puntaje de 19-33)
<b>Clase B</b>	Áreas de calidad media. Características excepcionales para algunos aspectos y comunes para otros. (puntaje de 12-18)
<b>Clase C</b>	Áreas de calidad baja. Características y rasgos comunes en la región (puntaje de 0-11)

Fuente: Modificado de Bureau of Land Management, 1980.

#### IV. Análisis de fragilidad visual

La fragilidad visual es definida como la susceptibilidad del paisaje al cambio cuando se desarrolla un uso sobre él; y la capacidad de absorción es la cualidad que tiene el paisaje para acoger acciones propuestas sin que se produzcan variaciones en su carácter visual, según Yeomans<sup>13</sup>.

Según esta metodología, la capacidad de absorción visual del paisaje se determina a partir de un conjunto de factores al que se le asignan puntajes que se consideran determinantes para la fragilidad visual (y la capacidad de absorción), utilizando los parámetros de la Tabla 2.22.

**Tabla 2.22 Criterios de valoración para determinar la Capacidad de Absorción Visual - CAV**

Factor	Condiciones	Puntajes	Nominal numérico
Pendiente (P)	Inclinado (pendiente >55%)	Bajo	1
	Inclinación suave (25-55% de pendiente)	Moderado	2
	Poco inclinado (0-25% de pendiente)	Alto	3
Estabilidad del suelo y erosionabilidad (E)	Restricción alta derivada de riesgo alto de erosión e inestabilidad, pobre regeneración potencial	Bajo	1
	Restricción moderada debido a ciertos riesgos de erosión e inestabilidad y regeneración potencial	Moderado	2
	Poca restricción por riesgo bajo de erosión e inestabilidad y buena regeneración potencial	Alto	3
Potencial estético (R)	Potencial bajo	Bajo	1
	Potencial moderado	Moderado	2
	Potencial alto	Alto	3
Diversidad de vegetación (D)	Eriales, prados y matorrales	Bajo	1
	Coníferas, repoblaciones	Moderado	2
	Diversificada (mezcla de claros y bosques)	Alto	3
Actuación humana (C)	Fuerte presencia antrópica	Alto	3
	Presencia moderada	Moderado	2

<sup>13</sup> (Yeomans, 1986)

Factor	Condiciones	Puntajes	Nominal numérico
Contrastes de color (V)	Casi imperceptible	Bajo	1
	Elementos de bajo contraste	Bajo	1
	Contraste visual moderado	Moderado	2
	Contraste visual alto	Alto	3

Fuente: Modificado de Yeomans, 1986.

Los puntajes obtenidos de la evaluación se ingresan a la siguiente fórmula que determina la Capacidad de Absorción Visual del Paisaje (CAV):

$$CAV = P * (E + R + D + C + V)$$

Donde cada abreviación corresponde a la que se muestra en la primera columna de la Tabla 2.22. El resultado de esta ecuación se compara con los valores de la Tabla 2.23 para asignarle una clase cualitativa.

**Tabla 2.23 Escala de valoración de la Capacidad de Absorción del paisaje**

Clase	Escala
Baja	<15
Moderada (media)	15-30
Alta	>30

Fuente: Modificado de Yeomans, 1986.

*V. Análisis de elementos discordantes, tamaño de la discordancia y correspondencia cromática*  
Con el fin de conocer la integridad escénica y el grado de intervención de las unidades de paisaje natural, se identificaron los distintos elementos discordantes presentes en el área de influencia del proyecto, así como el tamaño de dicha discordancia y su correspondencia cromática con el paisaje.

Para este análisis se siguió la metodología del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS), Autoridad nacional de Licencias Ambientales, según la cual se le da categoría de elementos discordantes (ver Tabla 2.24), el tamaño de la discordancia (ver Tabla 2.25) y la correspondencia cromática (ver Tabla 2.26), esta última según la discordancia entre el color de los elementos discordantes y de la unidad de paisaje.

*i. Elementos discordantes*

Los elementos discordantes son objetos que rompen con la homogeneidad de la escena. En el contexto paisajístico corresponden a los elementos antrópicos que se encuentren dentro del plano de visualización y genere impactos negativos para el observador, como las cercas con alambres de púas, señalizaciones, vallas, o carreteras. Estos elementos pueden disminuir la calidad visual de las unidades de paisaje y así alterar el atractivo escénico que resulta de éstas<sup>14</sup>. Las categorías cualitativas de elementos discordantes se estimaron a partir de la correspondencia con el número de elementos como se muestra en la Tabla 2.24.

**Tabla 2.24 Categoría de elementos discordantes según su número**

Elementos discordantes	Número
Alto	Mayor o igual a 3

<sup>14</sup> (ANLA, 2016)

Elementos discordantes	Número
Medio	2
Bajo	1
Nulo	0

Fuente: Elaboración propia, con base en los campos de la GDB de la ANLA según la Resolución 2182 de 2016.

### ii. *Tamaño de la discordancia*

El tamaño de la discordancia hace referencia a la ocupación de elementos discordantes con respecto al área total de cada unidad de paisaje. Entre mayor sea el tamaño de la discordancia, mayor será el grado de afectación en la calidad visual e integridad escénica del paisaje. Las categorías cualitativas para el tamaño de la discordancia se estimaron a partir de la Tabla 2.25.

**Tabla 2.25 Tamaño de la discordancia según el porcentaje del área**

Tamaño de la discordancia	Porcentaje del área total
Alta	Mayor o igual a 30%
Media	15-30%
Baja	0,1-15%
Nulo	0%

Fuente: Elaboración propia, con base en los campos de la GDB de la ANLA según la Resolución 2182 de 2016.

### iii. *Correspondencia cromática*

Este criterio se utiliza para calificar la discordancia entre el color de los elementos discordantes y de la unidad de paisaje. Entre mayor correspondencia cromática de los elementos discordantes con los elementos del paisaje, menor incidencia sobre el mismo y por lo tanto su integridad escénica resulta menos afectada, y viceversa. Para este parámetro se utilizaron cuatro categorías cualitativas: alto, medio, bajo y nulo como se evidencia en la Tabla 2.26, esto con base en las categorías disponibles en el modelo de almacenamiento de datos geográficos de ANLA.

**Tabla 2.26 Criterio de valoración para la correspondencia cromática**

Correspondencia cromática	Descripción
Alto	Hay una alta correspondencia cromática entre el elemento discordante y la unidad de paisaje de forma agradable.
Medio	Hay una correspondencia entre algunas de las tonalidades de la unidad de paisaje y el elemento discordante se percibe agradable.
Bajo	Hay alguna correspondencia cromática del elemento discordante con la unidad de paisaje, el elemento se percibe de forma desagradable.
Nulo	La correspondencia cromática del elemento discordante con la unidad de paisaje es nula o desagradable.

Fuente: Elaboración propia, con base en los campos de la GDB de la ANLA según la Resolución 2182 de 2016.

### VI. *Integridad escénica*

La integridad escénica hace referencia al grado de alteración (antrópica) que presenta un paisaje y es un indicador de su condición estética. Tiene una relación directa con la calidad visual y el

atractivo escénico de las unidades de paisaje. Se estimó la integridad escénica para las unidades de paisaje del área de influencia cualitativamente, en una escala de muy baja a muy alta, teniendo en cuenta las características de los elementos discordantes analizados con anterioridad. Los resultados se muestran en la Tabla 2.27. Estos resultados están directamente asociados con la zonificación del valor paisajístico del área de influencia, que es un insumo para la zonificación ambiental.

**Tabla 2.27 Categorías de integridad escénica según la intervención antrópica**

<b>Intervención antrópica</b>	<b>Integridad escénica</b>
Inalterado	Muy alta
Parece inalterado	Alta
Levemente alterado	Moderada
Moderadamente alterado	Baja
Muy alterado	Muy baja

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

#### *VII. Niveles de interés*

El nivel de interés está relacionado con el grado de importancia que las personas perciben en el paisaje, teniendo en cuenta también los puntos de observación. Para valorar este criterio se combinaron dos (2) categorías: el grado de observación y visibilidad de las características de cada unidad de paisaje, representados por la escala visual ya definida, y la calidad estética, representada por la calidad visual. Así, se pueden obtener diferentes categorías: vista inmediata con interés alto, vista en primer plano con interés alto, vista intermedia con interés alto, vista lejana con interés alto, vista inmediata con interés medio, vista en primer plano con interés medio, vista intermedia con interés medio, vista en primer plano con interés medio, vista intermedia con interés medio, vista lejana con interés medio, vista inmediata con interés bajo, vista en primer plano con interés bajo, vista intermedia con interés bajo y vista lejana con interés bajo.

#### *VIII. Sitios de interés paisajístico*

Los sitios de interés paisajístico son lugares de importancia ecológica, histórica y cultural que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto, donde se desarrollan actividades como el turismo, esparcimiento o contemplación, al igual que las zonas que concentran elementos naturales que albergan la biodiversidad nativa, formas del paisaje o zonas de interés naturales. Estos sitios corresponden entonces a lugares para la recreación, turismo y contemplación en el área de influencia, y se pueden agrupar en dos (2) tipos: los naturales y los históricos y culturales. Los sitios de interés natural se caracterizan por la abundancia y pureza de aguas, formas de paisaje y biodiversidad de fauna y flora. Los históricos y culturales se relacionan con sitios de interés asociados con tradiciones religiosas, espirituales o tradicionales que se desarrollan en el territorio. Así, para la evaluación de esta variable se indagó con la comunidad del área de influencia físicobiótica que hace parte del proyecto "Variante Mutatá" en el municipio de Mutatá, Antioquia; para conocer los sitios con importancia ecológica, histórica y cultural dentro del área de influencia.

#### *IX. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico dentro de la zona*

Se definieron las características del paisaje que componen el área de intervención del proyecto "Variante Mutatá", y lo que implica la ejecución de este en términos de la calidad visual, el atractivo escénico, la introducción de elementos discordantes y demás alteraciones sobre el componente.

X. *Percepción de las comunidades como referente de su entorno físico en términos culturales*  
Este numeral se desarrolla a partir de los resultados de las encuestas realizadas a la comunidad en el área de influencia. Adicionalmente, a partir de la información recolectada se realizó una calificación del paisaje, donde los pobladores dan una calificación a los atributos de los sitios de interés paisajístico de tipo natural identificados en la zona, con cuatro categorías que varían entre espectacular e indiferente como se muestra en la Tabla 2.28.

**Tabla 2.28 Categorías utilizada para calificar los sitios de paisaje en las socializaciones con la comunidad del municipio de Mutatá**

Categorías	
Espectacular	Llama la atención por ser fuera de lo común
Agradable	Agrada o complace
Desagradable	Causa mala impresión, fastidio o disgusta
Indiferente	No le molesta, pero tampoco le parece nada especial, no despierta interés

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

XI. *Zonificación paisajística*

La definición de la zonificación, se desarrolla mediante de la sumatoria de los criterios los criterios de percepción previamente evaluados (calidad visual (CV), fragilidad visual (FV), elementos discordantes (ED), tamaño de la discordancia (TD) y correspondencia cromática (CO), integridad escénica (IE), y niveles de interés (NI)) de cada una de las unidades de paisajes en el área de influencia físicobiótica del proyecto, y de la cual se obtiene la zonificación paisajística final a partir de los criterios y calificación a cada una de las unidades de paisaje que se presenta en la Tabla 2.29.

**Tabla 2.29 Criterio de zonificación del componente de paisaje**

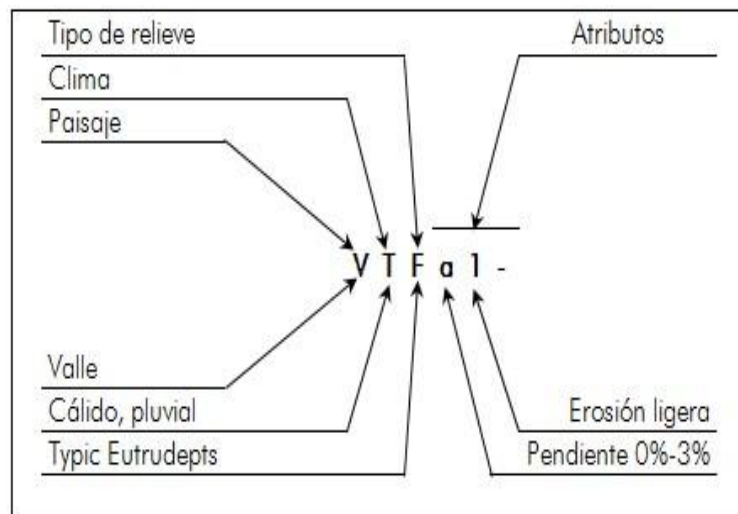
Sensibilidad		Descripción
Categoría	Calificación	
Muy baja	Entre 7-9	Unidades de paisaje con nula integridad escénica, sin elementos excepcionales o sobresalientes para los aspectos considerados.
Baja	Entre 10-12	Unidades de paisaje con reducida integridad escénica, sin elementos excepcionales o sobresalientes para los aspectos considerados.
Moderada	Entre 13-15	Unidades de paisaje que exhiben atributos comunes o típicos, donde sus elementos de conservación son reducidos.
Alta	Entre 16-18	Unidades de paisaje con sensibilidad medio, como consecuencia de la presencia de atributos comunes o típicos en el territorio.
Muy alta	Entre 19-21	Unidades de paisaje con sensibilidad asociado a las características excepcionales que exhiben en e territorio.

Fuente: Modificado de Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales, 2020.

### 2.3.3.1.4 Suelos y usos de la tierra

#### A. Unidades de suelo

A partir de la revisión de información secundaria y la información recopilada en campo, se realizó la descripción de los suelos identificados en el área de influencia del proyecto, de acuerdo con los lineamientos metodológicos del IGAC. Las unidades de suelos se denotaron con un símbolo conformado por tres (3) letras mayúsculas que indican el paisaje, el clima y el componente taxonómico, y números arábigos con letras minúsculas que indican las fases por erosión y susceptibilidad a inundación (Figura 2.12 y Tabla 2.30).



**Figura 2.12 Significado del símbolo que denota las unidades de suelos, escala 1:25.000**

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025., modificado de U.T. Estudios Ambientales Mar 2, 2017<sup>15</sup>.

**Tabla 2.30 Componentes del símbolo de las unidades de suelos**

Paisaje		Clima		Pendiente		Atributos		Erosión	
L	Lomerío	T	Cálido pluvial	a	1-3%	x	Inundable	1	Ligera
A	Altiplanicie	U	Cálido muy húmedo	b	3-7%	y	Encharcable	2	Moderada
R	Planicie	V	Cálido húmedo	c	7-12%	-	N/A	-	N/A
V	Valle	W	Cálido seco	d	12-25%	-	N/A	-	N/A
M	Montaña	-	N/A	e	25-50%	-	N/A	-	N/A

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025., modificado de IGAC, 2010<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> (UT. ESTUDIOS AMBIENTALES MAR2, 2017)

<sup>16</sup> (IGAC, 2010)

#### D. Uso actual del suelo

Las unidades de uso actual de suelo se delimitaron con base en el mapa de coberturas vegetales generado con la metodología CORINE Land Cover-Colombia, agrupando las unidades de cobertura en las categorías de uso del suelo definidas por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

#### E. Uso potencial del suelo

En el análisis de la información para evaluar la capacidad de uso de las tierras o su clasificación agrológica, se utiliza el sistema de clasificación por capacidad de uso de las tierras, que permite agrupar las diferentes unidades de suelos, en grupos que tienen las mismas clases y grados de limitaciones y que responden en forma similar a los mismos tratamientos; la agrupación se basa en los efectos combinados del clima y de las características poco modificables de relieve y suelos, en relación con limitaciones para el uso, para la capacidad de producción, para el riesgo de deterioro y para los requerimientos de manejo del suelo. Una de las características de esta clasificación es que se realiza para fines agropecuarios, forestales, y para identificar las zonas que requieren mayor protección y conservación; donde se mezclan los aspectos que determinan el uso más adecuado para cada unidad de suelos y las prácticas recomendadas para la conservación.

El sistema de clasificación por capacidad de uso utilizado tiene tres categorías:

- Clase (nivel más general)
- Subclase (categoría intermedia)
- Grupo de manejo (nivel más detallado)

Al utilizar la clasificación agrológica se tiene en cuenta que: La clase agrupa tierras que presentan similitud en el grado relativo de limitaciones y/o en los riesgos en cuanto al deterioro del suelo. Las Clases son ocho (8) y se designan con números arábigos del 1 al 8. Las cuatro (4) primeras son arables, aptas para cultivos y pastos adaptados a las condiciones climáticas. Las limitaciones se incrementan de la clase 1 a la 4 en lo referente a las posibilidades de uso (ver Tabla 2.31).

- Las clases 1 y 2 agrupan tierras arables, con capacidad para cualquier tipo de cultivo adaptable a las condiciones climáticas y con requerimiento de pocas prácticas de conservación del suelo.
- Las clases 3 y 4 agrupan tierras arables con capacidad para algunos cultivos, adaptables a las condiciones ambientales, con necesidad de moderadas prácticas de conservación de suelos.
- La clase 5 agrupa suelos con limitaciones que solo son potencialmente utilizables en condiciones naturales por determinados períodos del año; su habilitación requiere prácticas costosas de adecuación.

- Las clases 6 y 7 tienen limitaciones severas y muy severas por lo que son aptas para plantas nativas o para algunos cultivos específicos, pastos y plantas forrajeras con prácticas intensivas de conservación y costos de operación muy elevados.
- La clase 8 corresponde a suelos con limitaciones extremadamente severas, por lo que se deben dedicar a la protección de la vida silvestre, a la investigación, a la recreación y a la conservación de los recursos naturales, especialmente de las fuentes de agua.

Las subclases son categorías subordinadas a las clases agrológicas, las cuales tienen el mismo tipo de limitantes y grado de afectación; se identifican mediante la adición de una letra minúscula que sigue al respectivo dígito de la clase; en la medida que aumenta el orden de la clase, pueden adicionarse hasta tres letras que indican en donde radica la limitación. Se han definido las subclases de pendiente (p), erosión (e), exceso de humedad o encharcamientos e inundaciones (h), limitaciones zona radical (s) y limitaciones por clima adverso (c). Se presenta su intensidad en la Tabla 2.31.

**Tabla 2.31 Clase de capacidad de uso del suelo**

AUMENTO DE LA INTENSIDAD DEL USO									
Clases de Capacidad de Uso	Vida Silvestre	Pastoreo o Forestal			Cultivo				Tasa de destrucción y erosión del suelo desnudo
		Limitado	Moderado	Intensivo	Limitado	Moderado	Intensivo	Muy Intensivo	
1									Extremadamente lenta
2									Muy lenta
3									Lenta
4									Moderada
5									Variable
6									Rápida
7									Muy rápida
8									Extremadamente rápida

Aumentan las limitaciones y riesgos en el sentido vertical  
Disminuye la adaptabilidad y la libertad de elección para el uso, en el mismo sentido.

Fuente: IGAC, 2010

Los suelos de las clases 1 a la 4 pueden considerarse con capacidad de uso para la agricultura y la ganadería, calificada como muy buena, buena y moderada, en su orden. La clase 5 no es apta para agricultura convencional, por razones como pedregosidad, pendiente, erosión, entre otras.

Los suelos de las clases 6 y 7 no son indicados para fines agrícolas, debido a rigurosas restricciones, como las fuertes pendientes y erosión severa; las tierras de clase 6 pueden utilizarse en ganadería y las de 7 en bosques. Los suelos de la clase 8 no tienen aptitud agropecuaria, ni forestal de producción y se deben dedicar a la conservación y protección de los recursos naturales y del medio ambiente.

Se reconocen limitaciones en subclases por pendiente (p), erosión (e), exceso de humedad (h), suelo (s) y clima ambiental extremo (c), las cuales se detallan en la Tabla 2.32.

**Tabla 2.32 Clase de capacidad de uso del suelo**

Subclase - Factor determinante de limitación	Descripción
Pendiente (p)	El relieve del área donde se encuentran estos suelos presenta pendientes superiores al 12%
Erosión y topografía (e)	Suelos con peligro de erosión al ser establecidos sobre ellos cultivos, o suelos ya erosionados. Si se cultivan, deben acompañarse de prácticas de conservación adecuadas.
Drenaje (h)	Suelos en los que los excesos de humedad en la zona de raíces o sobre la superficie, interfieren o dificultan el crecimiento y desarrollo de las plantas o la labranza del suelo.
Suelo (s)	Suelos cuyas propiedades adversas limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se incluyen, entre otras, perfiles de suelo muy delgados, problemas de salinidad, y presencia de panes.
Clima (c)	Suelos localizados en zonas donde la lluvia, la temperatura y la luminosidad, por exceso o defecto, se constituyen en factores limitantes para el desarrollo de las plantas.

Fuente: IGAC, 2010

#### F. Conflicto de uso de suelo

El análisis de los conflictos de uso del suelo en el área de influencia del proyecto se efectuó teniendo en cuenta la vocación de uso o capacidad potencial de suelo para generar biomasa mediante sistemas agropecuarios, forestales y boscosos, comparada con la productividad obtenida mediante los usos actuales, según la metodología desarrollada por CORPOICA.

##### 2.3.3.1.5 Hidrología

#### A. Identificación de sistemas lénticos y lóticos

Para la identificación de los sistemas lénticos y lóticos ubicados dentro del área de influencia se realizó una revisión de las fotografías aéreas del proyecto en conjunto con los recorridos de campo. Adicionalmente, se realizó la actualización de las redes de drenaje y sistemas lénticos ubicadas dentro del área de influencia, teniendo en cuenta criterios como la presencia de cobertura ripiara, curvas de nivel, fotografías aéreas, recorridos en campo y la formación de espejos de agua.

#### B. Codificación y nomenclatura de cuencas

Para la identificación y delimitación de las cuencas hidrográficas se utilizó la cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en escala 1:25.000, en escala 1:25.000 de las planchas 103IC, 103ID, 103IIIA, 103IIIB, 103IIIC y 103IIID y se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM) de resolución espacial de 12.5 m de píxel descargado del servidor geográfico ASF (Alaska Satellite Facility), como también información primaria de mayor detalle levantada in situ con resolución de 0,3 m de píxel. Además, para la codificación de las cuencas mencionadas,

se tomó en cuenta la zonificación y codificación de unidades hidrográficas de Colombia, como las codificaciones de los niveles subsiguientes establecidas en los Planes de Ordenación y manejo de Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Sucio.

#### G. Identificación de datos hidroclimáticos

Para el desarrollo del estudio hidrológico se seleccionaron las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM) cercanas a la zona, que disponían información de más de 15 años y que incluyeran registros de los últimos 10 años. Además, se tuvieron en cuenta criterios de consistencia y homogeneidad que serán evaluados en el siguiente numeral.

#### C. Análisis de calidad de datos y consistencia de la información

El análisis de calidad y consistencia de la información se realizó considerando los siguientes elementos: análisis gráfico exploratorio, identificación de valores anómalos, identificación de tendencias y homogeneidad en las series utilizadas.

##### I. Análisis gráfico

Se realiza un análisis gráfico de las series de tiempo diarias y curva de masa simple, en las cuales se identifican periodos sin registros, cambios en la media y datos anómalos<sup>17</sup>.

##### II. Análisis de datos anómalos

Un dato anómalo u "outlier" es una observación que queda anormalmente lejos del comportamiento general de las observaciones en una serie. Los datos anómalos pueden ser causados por errores de medida, errores de transcripción, averías de los instrumentos, y problemas de calibración; también pueden indicar mayor variabilidad espacial o temporal que la esperada; estos dan la impresión de ser muestras de una distribución distinta al resto de las observaciones y parecen no ser representativos de la muestra.

Para comprobar la existencia de datos anómalos en las series de precipitación máxima anual de las estaciones de interés, se utilizó la prueba de Chauvenet<sup>18</sup>, la cual se utiliza para determinar si un valor de una muestra es diferente al resto de los puntos. El punto de datos a probar es un valor de muestra que se desvía más de la media.

Las hipótesis para esta prueba es la siguiente:

H0: Todos los puntos de muestra son de la misma población normal

HA: El punto de muestra más extremo en la muestra es poco probable que provenga de la población normal de la cual se extrajeron el resto de los puntos de muestra.

Chauvenet definió la región de rechazo al suponer que es poco probable que una observación sea de la distribución normal si está en las colas de la distribución con la probabilidad  $p$  de  $1/2n$ . Si el valor absoluto de  $Z_0$  excede el valor  $Z_{\frac{p}{2}}$  (Obtenida de la distribución normal estándar), entonces se puede rechazar hipótesis nula (H0).

<sup>17</sup> (Smith & Campuzano)

<sup>18</sup> (McCuen, 2003)

Para calcular la probabilidad del valor medido que potencialmente pueda ser un atípico se calcula la desviación estandarizada de la siguiente manera:

$$Z_0 = \frac{(X_0 - X)}{S}$$

Donde  $X_0$  es el valor atípico potencial,  $X$  es la media de la muestra y  $S$  es la desviación estándar de la muestra.

### III. Pruebas estadísticas

#### i. Análisis de homogeneidad

Para el análisis de homogeneidad se empleó la prueba no paramétrica de Mann – Whitney, la cual permite comparar dos muestras independientes de la misma serie y define si todos los elementos de la serie de datos provienen de una misma población. La prueba considera las siguientes ecuaciones:

$$V = R - p(p + 1)/2$$

$$W = pq - V$$

Donde  $p$  y  $q$  se consideran dos muestras de tamaño  $N = p + q$ ,  $R$  es la suma de los rangos de los elementos de la primera muestra de tamaño  $p$  en la serie combinada y  $V$  representa el número de veces que un ejemplar de la muestra 1 sigue en rango a un ejemplar de la muestra 2.

El estadístico de prueba ( $U$ ), a partir del cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula la cual es que las dos muestras provienen de la misma población (Homogeneidad) se define a partir de las siguientes expresiones:

$$|u| = |(U - \bar{U})/Var(U)^{1/2}|$$

$$Var(U) = \left[ \frac{pq}{N(N-1)} \right] \left[ \frac{N^3 - N}{12} - \sum T \right]$$

$$\bar{U} = pq/2$$

#### ii. Análisis de cambio en la media

Para detectar cambios en la media de la serie de tiempo se aplicó la prueba no paramétrica (Pettitt, 1976)<sup>19</sup> la cual se basa en rangos de valores.

$$X_d = 2 \sum_{i=1}^d r_i - d(n + 1)$$

Para  $d=1,2,\dots, n$  y la variación se detecta cuando el año  $m$  cumple con la siguiente expresión:

$$X_m = \max |X_d|$$

#### iii. Análisis de tendencia

Como parte del análisis de calidad de los datos se aplicó también la prueba no paramétrica de Mann – Kendall, en la cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula de que los datos hidrológicos

<sup>19</sup> (Pettitt, 1976)

analizados no presentan una dependencia del tiempo, es decir, una tendencia ya sea positiva o negativa.

En una serie temporal de observaciones  $x_1, x_2, x_n$ , para que la hipótesis nula ( $H_0$ ) sea verdadera los datos que componen la serie temporal deben ser variables aleatorias, independientes e igualmente distribuidas. Para que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) sea la verdadera los datos de la serie temporal deben seguir una tendencia monoatómica. El test Mann-Kendall se representa de la siguiente manera:

$$S = \sum_{k=1}^{n_1-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Donde:

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

$X_j$  representa los datos estimados de la secuencia de valores,  $n$  representa el tamaño de la serie temporal. Reciben valor cero (0) si  $(X_j - X_k) = 0$ ; [-1] si  $(X_j - X_k) > 0$ , y [1] si  $(X_j - X_k) < 0$ . Supone que  $H_0$  sea verdadera,  $S$  debe presentar una distribución aproximadamente normal con media cero y variancia igual a:

$$\text{Var}(S) = [(n(n-1)(2n+5))/18]$$

El resultado de  $S$  indica la posible existencia de tendencias, desde que el valor de  $S$  sea significativamente diferente de cero. Siendo  $S$  diferente de cero, la hipótesis nula  $H_0$  puede ser rechazada, y la hipótesis alternativa  $H_1$  sería aceptada<sup>20</sup>.

El estadístico de la prueba se define de la siguiente manera:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & S < 0 \end{cases}$$

La existencia de una tendencia estáticamente significativa es evaluada por el valor de  $Z$ . El valor positivo de  $Z$  indica cuando hay aumento en la tendencia y el valor negativo indica disminución en la tendencia. El valor  $Z$  es el parámetro de salida del test Mann-Kendall, para probar la tendencia, creciente o decreciente, para un nivel de significancia  $\alpha$ , se compara el valor de  $Z$  obtenido en la prueba de Mann Kendall con el valor de  $Z_{1-\alpha/2}$ , la hipótesis nula se rechaza cuando el valor de  $Z$  es mayor que  $Z_{1-\alpha/2}$ .

## XII. Completado de series

Se realizó el llenado de datos faltantes mediante el método de la Razón Normal, el cual emplea la razón de los valores normales de las estaciones próximas a la estación en la que se desea

<sup>20</sup> (Alencar, 2017)

calcular el dato faltante, y viene dada por la siguiente ecuación, donde  $n$  es el número de estaciones pluviométricas con registros continuos;  $P_x$  es la precipitación de la estación con datos faltantes ( $x$ ) durante el período de tiempo a completar;  $P_1$  a  $P_n$  es la precipitación de las estaciones auxiliares durante el período de tiempo a completar;  $N_x$  es la precipitación media anual de la estación ( $x$ );  $N_1$  a  $N_n$  es la precipitación media anual de las estaciones auxiliares<sup>21</sup>.

$$P_x = \frac{1}{n} \left[ \left( \frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left( \frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left( \frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right]$$

#### IV. Análisis temporal y espacial de las variables climáticas

##### i. Precipitación

Teniendo en cuenta los valores de la precipitación total multianual de las estaciones seleccionadas, se generó un mapa tipo ráster a partir de la interpolación de los datos puntuales de las estaciones de medición. La espacialización de la precipitación se realizó a partir del método IDW (Ponderación de Distancia Inversa), el cual determina los valores de cada celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, donde la ponderación es una función de la distancia inversa. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra, y es ampliamente usado en la interpolación de datos climáticos cuando la densidad de las estaciones meteorológicas es baja<sup>22</sup>.

##### ii. Temperatura

Para determinar la variación espacial de la temperatura se empleó la ecuación propuesta por Cenicafé (1998), donde  $T_m$  es la temperatura media multianual y  $H$  es la elevación<sup>23</sup>.

$$T_m = 27,72 - 0,0055H$$

##### iii. Evapotranspiración real

Esta variable se estimó a partir de metodologías empíricas, las cuales se presentan a continuación<sup>24</sup>:

###### a. Método de Cenicafé - Budyko

La ecuación de Cenicafé permite estimar la Evapotranspiración Potencial media anual a partir de la elevación  $H$ , mediante la siguiente ecuación.

$$ETP = 1700,17 \exp(-0,0002H)$$

Posteriormente, para determinar la Evapotranspiración Real (ETR) se empleó la transformación propuesta por Budyko (1974), donde  $P$  corresponde a la precipitación media y  $ETP$  Evapotranspiración Potencial (mm/año).

<sup>21</sup> (Monsalve, 2009)

<sup>22</sup> (Singh, 2016)

<sup>23</sup> (Jaramillo & Cháves, 1988)

<sup>24</sup> (Rojo, 2000)

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

*b. Método de Turc*

Su formulación está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos como la temperatura y la precipitación, como se muestra en las siguientes expresiones, donde  $P$  es la precipitación y  $L$  es un parámetro heliotérmico en función de la temperatura media anual.

$$\text{Si } P/L > 0,316 \quad ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$\text{Si } P/L < 0,316 \quad ETR = P$$

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

*c. Método Factor Regional*

La evapotranspiración real (ETR) se estima mediante la siguiente ecuación empírica, donde,  $P$  es la precipitación media en la cuenca (mm/año),  $R_n$  es el equivalente de agua de la radiación neta con  $R_n = 1172,69$  en (mm/año),  $ETR$  es la evapotranspiración real (mm/año) y  $\alpha$  es un parámetro que depende de la escala de estimación de la variable. El método asume que la evaporación anual no excede los valores de  $P$  ó  $R_n$  y tiene una relación  $m = \frac{P}{R_n}$  en el intervalo  $0,23 < \mu < 1,97$ , así mismo, se propone un valor  $\alpha = 1,91$  con buenos resultados, pero aplicable para zonas con  $0,85 < \mu < 6,37$ .

$$ETR = \frac{P}{\left(1 + \left(\frac{P}{R_n}\right)^\alpha\right)^{1/\alpha}}$$

*iv. Presión atmosférica*

Para el análisis de la variación espacial de la presión atmosférica en la región de análisis, se tuvo en consideración la estimación de esta teniendo en consideración la altura sobre el nivel del mar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Presión} = 1013,25(1 - 0,0000225577H)^{5,2559}$$

Donde,  $H$  corresponde a la altitud sobre el nivel del mar.

Esta ecuación corresponde a una derivación del modelo de atmósfera estándar internacional (ISA)<sup>25</sup>.

*v. Humedad relativa*

Para el análisis de la humedad relativa media interanual a escala mensual, se emplearon los datos de la estación Villarteaga [12015010], con un periodo de registros superior a los 10 años.

<sup>25</sup> (Wallace & Hobbs, 2006)



AUTOPISTAS URABÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"



*vi. Dirección y velocidad del viento*

Para el análisis de la velocidad del viento se tuvo en consideración los atlas de velocidad del viento presentes en el IDEAM, 2015. Donde se presenta la velocidad promedio del viento a diferentes alturas de la atmosfera durante todo el año.

*vii. Brillo solar*

Por su parte, para la variable brillo solar, solo se contó con información de la estación Villarteaga [12015010].

*viii. Radiación solar*

Respecto la radiación solar se tuvo en cuenta la información presente en Global Solar Atlas operado por Solargis en nombre de World Bank Group<sup>26</sup>, donde se presenta información de la irradiación directa normal (DNI), la cual corresponde a la cantidad de radiación solar que llega a un lugar en línea recta desde el sol y que incide en una superficie perpendicular a los rayos solares, medida en kWh/m<sup>2</sup>.

**D. Morfometría de las cuencas hidrográficas**

Se presenta la caracterización morfométrica de las UAH, donde se incluye los parámetros físicos, de forma, de relieve, las características del sistema de drenaje y la determinación del tiempo de concentración.

*I. Parámetros físicos de la cuenca*

*i. Área de la cuenca*

El área de la cuenca es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigida directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

*ii. Perímetro*

El perímetro de la cuenca corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca.

*iii. Longitud recta de la cuenca*

Es la longitud en línea recta con dirección "paralela" al cauce principal entre el punto de salida o descarga de la cuenca y el punto más alejado de este.

*iv. Ancho de la cuenca*

Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud de esta.

*v. Parámetros de forma*

Para explicar cuantitativamente la forma de la cuenca, ésta se compara con figuras geométricas conocidas como lo son: el círculo, el óvalo, el cuadrado y el rectángulo.

*vi. Índice de compacidad (Kc)*

El índice de compacidad relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área que la de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico<sup>27</sup>; se asigna una descripción según la Tabla 2.33.

<sup>26</sup> (World Bank Group & Solargis, 2024)

<sup>27</sup> (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2010)

**Tabla 2.33 Índice de compacidad para la evaluación de la forma**

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval – redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval – oblonga
Kc3	> 1,5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: Reyes, Barroso, & Carvajal, (2010).

vii. *Factor de forma (Kf)*

Es la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud de esta (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro, presentadas en la Tabla 2.34.

**Tabla 2.34 Clasificación del factor de forma**

Clase	Rango	Descripción
Kf1	<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
Kf2	1	Cuadrada
Kf3	>1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

Fuente: Reyes, Barroso, & Carvajal, 2010.

II. *Parámetros asociados al relieve*

i. *Pendiente media de la cuenca*

La pendiente corresponde a la variación de la inclinación de una cuenca, y determina su comportamiento respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación). De esta manera, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia problemas de erosión, mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación<sup>28</sup>.

En conjunto con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca, lo que afecta directamente la respuesta hidrológica, es decir, la magnitud y el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En la Tabla 2.35 se muestra la clasificación de las cuencas según la pendiente.

**Tabla 2.35 Clasificación de la cuenca de acuerdo con la pendiente**

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

Fuente: IDEAM, 2013<sup>11</sup>.

<sup>28</sup> (IDEAM, 2013)

*ii. Elevación media de la cuenca*

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre el clima, y por tanto sobre el régimen hidrológico; además brinda una base para caracterizar diferentes zonas climatológicas dentro de la misma cuenca.

*III. Características del sistema de drenaje*

*i. Índice de sinuosidad ( $I_s$ )*

La sinuosidad se presenta frecuentemente en cauces de poca pendiente, mientras que una baja sinuosidad es representativa de cauces de mayor pendiente. Puede medirse basados en la longitud del cauce principal con relación de la longitud media de la cuenca y define el tipo de canal<sup>29</sup>, de acuerdo con la Tabla 2.36.

**Tabla 2.36 Descripción del índice de sinuosidad**

$I_s$	Tipo de canal
1 – 1,2	Canal Rectilíneo
1,2 – 1,5	Canal Transicional
1,5 – 1,7	Canal Regular
1,7 – 2,1	Canal Irregular
>2,1	Canal Tortuoso

Fuente: Schumm, 1977<sup>12</sup>.

*ii. Densidad de drenajes ( $D_d$ ) y corrientes ( $D_c$ )*

La densidad del drenaje es la relación entre la longitud total de las corrientes de agua de la cuenca y su área total; como resultado se tiene que cuencas con drenaje pobre presentan valores bajos y cuencas bien drenadas tiene unos valores altos<sup>30</sup>, como se muestra en la Tabla 2.37 Por otro lado, la densidad de corrientes es la relación entre el número total de corrientes en la cuenca y su área total; los valores elevados corresponden a cuencas bien drenadas.

**Tabla 2.37 Clasificación de la densidad de corrientes**

Densidad de drenaje ( $D_d$ )	Clase
0,1 – 1,8	Baja
1,9 – 3,6	Moderada
3,7 – 5,6	Alta

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

*iii. Tiempos de concentración*

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente, desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo, se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con parámetros propios de la cuenca.

En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo. A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones utilizadas en el presente estudio.

<sup>29</sup> (Schumm, 1977)

<sup>30</sup> (CORTOLIMA, 2009)

Bransby-Williams:  $T_c = 14,6L * A^{-0,1} * S_0^{-0,2}$

$T_c$ : Tiempo de concentración [min]

$A$ : Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

$L$ : Longitud del cauce principal [km]

$S_0$ : Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre  $L$  [m/m]

California Culverts Practice  $T_c = 0,0195 \left( \frac{Lm^3}{H} \right)^{0,385}$

$T_c$ : Tiempo de concentración [min]

$Lm$ : Longitud del cauce principal [m].

$H$ : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente [m]

Giandotti:  $T_c = \left( \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3\sqrt{LS_0}} \right)$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$A$ : Área de la cuenca [km<sup>2</sup>].

$L$ : Longitud del cauce principal [km]

$S_0$ : Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre  $L$  [m/m]

Johnstone y Cross:  $T_c = 5 \left( \frac{Lm}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,5}$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$Lm$ : Longitud del cauce principal [mi]

$S_0$ : Pendiente del cauce principal [pies/mi]

Kirpich:  $T_c = 0,0078 * L_p^{0,77} * S_p^{-0,385}$

$T_c$ : Tiempo de concentración [min]

$L_p$ : Longitud del cauce principal [pies]

$S_p$ : Pendiente del canal [m/m]

Linsey:  $T_c = Ct \left( \frac{Lm * Lc}{S^{0,5}} \right)^{0,35}$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$Ct$ : Constante (1.2, áreas montañosas; 0.72, en zonas de pie de ladera; 0.35, en valles).

$Lm$ : Longitud de la cuenca [mi].

$L_c$ : Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca [mi]

$S$ : Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre  $L$  [%]

Passini: 
$$T_c = a \frac{(SL)^{1/3}}{i^{0.5}} \quad a = \frac{L}{\sqrt{S}}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$a$ : Alejamiento medio

$L$ : Longitud del cauce principal [km].

$S$ : Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

$i$ : Pendiente media del cauce principal [%]

Pérez Monteagudo: 
$$T_c = \frac{L}{72 * \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$L$ : Longitud del cauce principal [km]

$H$ : Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente [km]

Pilgrim y McDermott: 
$$T_c = 0,76A^{0.38}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$A$ : Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

SCS – Ranser: 
$$T_c = 0,947K^{0.385} \quad \text{donde } K = \sqrt{\frac{L_c^3}{H}}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$L_c$ : Distancia desde el punto de interés al punto donde la corriente corta la divisoria [km]

$H$ : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente [pies]

Snyder: 
$$T_c = Ct(Lm * Lc)^{0.3}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$Ct$ : Constante (1,2, áreas montañosas; 0,72, en zonas de pie de ladera, 0,35, en valles).

$Lm$ : Longitud de la cuenca [mi]

$Lc$ : Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca [mi]

Témez: 
$$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h].

$L$ : Longitud del cauce principal [km].

$S$ : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre  $L$  [%].

Williams: 
$$T_c = \frac{Lm * Am^{0,4}}{DS^{0,2}}$$

$T_c$ : Tiempo de concentración [h]

$Lm$ : Distancia en línea recta desde el punto de interés al punto más alto de la cuenca [mi]

$Am$ : Área de la cuenca [mi]

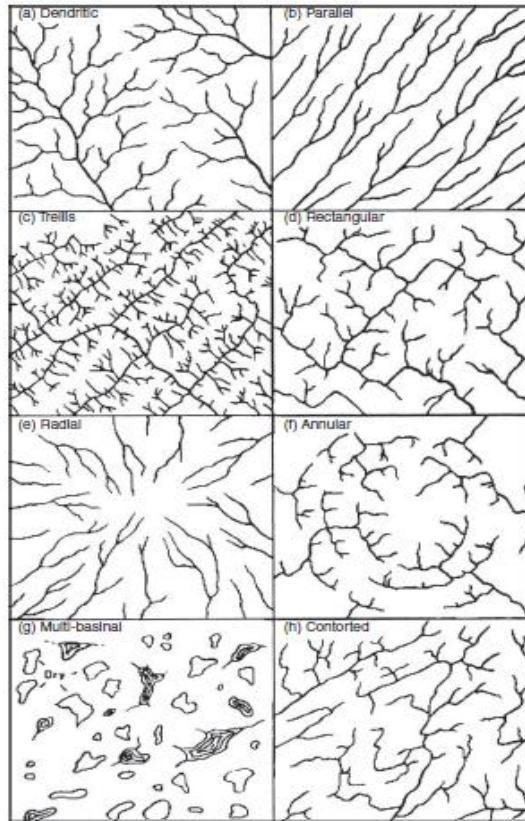
$D$ : Diámetro de una cuenca circular [mi].

$S$ : Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre  $L$  [%]

El tiempo de concentración se estimó como el promedio aritmético de los valores obtenidos por las diferentes metodologías. Los datos por fuera de los límites de confianza definidos (resaltados en color gris) no fueron usados para el análisis.

#### IV. *Patrones regionales de drenaje*

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares; el conocimiento de su disposición, ramificación y caracterización es básico si se considera su influencia en la respuesta hidráulica e hidrológica de una cuenca. Dependiendo de la forma que presenten los cauces que posee la cuenca, se puede hablar de patrones de drenaje, entendido esto como la forma que tiene él o los cauces encargados de drenar o extraer el agua de los terrenos circundantes (vertientes), en la Figura 2.13 se presentan algunos patrones de drenaje documentados en la literatura.



**Figura 2.13 Patrones de drenaje regionales documentados en la bibliografía**

Fuente: Singh, 2016<sup>31</sup>.

## E. Régimen hidrológico

Dentro la evaluación del régimen hidrológico de las UAH se estimaron los caudales característicos: caudal medio, caudal ambiental, caudales máximos y mínimos asociados a los periodos de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años de retorno.

### 1. Caudal medio

#### i. Balance hídrico a largo plazo

Para el balance hidrológico, se utilizaron las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control. El balance de agua en el volumen de control para la columna atmosférica está dado por la siguiente ecuación, donde  $dS(t)$  es el cambio en el almacenamiento de agua en el suelo en el tiempo  $t$  en mm,  $P(t)$  es la precipitación en el tiempo  $t$  en mm,  $E(t)$  es la evapotranspiración en el tiempo  $t$  en mm,  $R(t)$  es la escorrentía superficial en la cuenca en el tiempo  $t$  en mm.

<sup>31</sup> (Singh, 2016)

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

Al integrar dicha ecuación en el largo plazo para un tiempo  $T$ , se considera que el cambio en almacenamiento es igual a cero, obteniendo la siguiente expresión, donde  $\bar{R}$ ,  $\bar{P}$  y  $\bar{E}$  representan los valores medios a largo plazo para la escorrentía, precipitación y evapotranspiración en la cuenca.

$$\bar{R} = \bar{P} - \bar{E}$$

Una suposición adicional que se realiza es identificar a  $\bar{R}$  con el promedio de escorrentía superficial, la cual es justificada por la imposibilidad de observar, medir o estimar la componente subterránea. De esta manera, al simplificar términos y remplazar los promedios en el tiempo se obtiene la siguiente ecuación, donde  $\bar{Q}$  es el caudal medio de largo plazo en unidades de  $(L^3/T)$ ,  $A$  es el área en unidades de  $(L^2)$ ,  $P$  es la precipitación en unidades de  $(L/T)$ ,  $E$  es la evapotranspiración en unidades de  $(L/T)$ .

$$\bar{Q} = A(\bar{P} - \bar{E})$$

Para una cuenca dada, el cálculo del balance hidrológico se hace aplicando la ecuación anterior en cada punto interior  $(x, y)$ . Así, para cada píxel en el interior de la cuenca, se estima la precipitación y la evapotranspiración real, se evalúa la ecuación y su resultado se multiplica por el área del píxel, obteniendo así el volumen de agua que éste aporta durante el intervalo de tiempo dado (un año en este caso). Finalmente, la integración sobre toda la cuenca estima el volumen total de agua que sale del sistema durante el mismo período de tiempo.

#### ii. *Estimación de caudales medios mediante modelo hidrológico lluvia-escorrentía*

A continuación, se realiza una descripción conceptual del modelo de tanques agregado lineal<sup>32</sup>, en donde el intervalo de tiempo utilizado en este caso en la simulación es de un día. Una metodología detallada del proceso de calibración del modelo de tanques puede ser consultada en Jaramillo et al. 2004<sup>33</sup> y Amaya et al. 2009<sup>34</sup>.

##### a. *Modelo agregado lineal – descripción teórica*

En el modelo, la producción de escorrentía se basa en balance hídrico en la cuenca, asumiendo que el agua se distribuye en cuatro tanques o niveles de almacenamiento conectados entre sí, en donde cada uno de estos tanques representan las diferentes partes del suelo y subsuelo que aportan a la escorrentía, como puede observarse en la Figura 2.14.

<sup>32</sup> (Vélez, 2001)

<sup>33</sup> (Jaramillo Uribe, Vélez Upegui, & Vélez Otálvaro, 2004)

<sup>34</sup> (Amaya, Tamayo, Vélez, Vélez, & Álvarez, 2009)

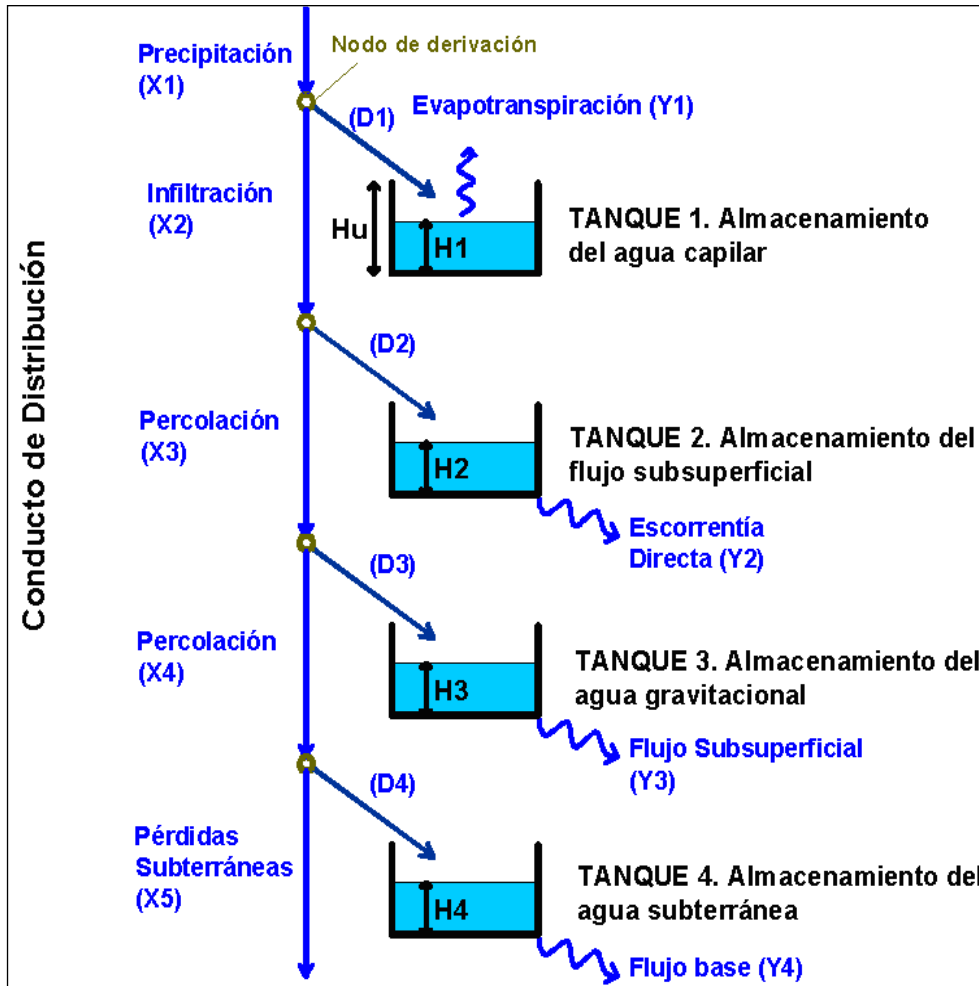


Figura 2.14 Modelo de tanques agregado lineal  
Fuente. Vélez, J. I., 2001

En cada intervalo de tiempo, la precipitación,  $X_1$ , se distribuye a los distintos almacenamientos (o tanques), donde en función del volumen almacenado en cada uno de ellos,  $H_i$ , se determina su contribución a la escorrentía  $Y_i$ .

El modelo realiza el balance de agua en cada tanque y actualiza los volúmenes almacenados en cada uno de ellos.

La cantidad de agua que se deriva en cada nodo,  $D_i$ , y la que continúa hacia los niveles inferiores  $X_i$  por el conducto distribuidor depende de la cantidad de agua disponible, del estado de almacenamiento del tanque y de la capacidad del conducto distribuidor aguas abajo del nodo, la cual se puede relacionar con la conductividad hidráulica en el subsuelo.

La descarga  $Y_i$  en cada uno de los tanques está en función del volumen almacenado y de las características de la cuenca que se pueden asociar con el tiempo de permanencia del agua en un elemento de almacenamiento temporal.

*b. Tanque 1: Almacenamiento Capilar en el Suelo*

Representa el agua que transita por la cuenca y que sólo sale de ella por evapotranspiración, por lo tanto, no hace parte de la escorrentía. Este almacenamiento se refiere a la interceptación, la detención de agua en charcos y el agua que se retiene en el suelo debido a fuerzas capilares.

De acuerdo con la configuración del modelo, la precipitación  $X_1$  se estima según los registros de las estaciones más cercanas, empleando un método de interpolación espacial.

El valor obtenido de lluvia entra a un conducto del que se deriva una cantidad  $D_1$  para el almacenamiento o tanque  $T_1$ . La capacidad máxima ( $H_u$ ) se supone igual a la suma de la capacidad de almacenamiento de "agua útil" en el suelo y la capacidad de la cobertura de la superficie para almacenar agua. La capacidad de almacenamiento de "agua útil" está relacionada con la cantidad de agua que hay que agregar a una columna de suelo muy seco hasta alcanzar el mayor almacenamiento capilar posible sin que el agua fluya por la acción de la gravedad. La capacidad de la cobertura de la superficie por lo general está relacionada con la cobertura vegetal.

La cantidad de agua que se deriva y que entra al almacenamiento estático, corresponde de una forma muy elemental; al mínimo entre el agua existente en el conducto distribuidor, el que se requiere para llenar el tanque de almacenamiento capilar, y el máximo que puede ingresar al suelo durante un intervalo de tiempo.

Así, a menos que se llene el almacenamiento capilar, no se deja pasar nada a la escorrentía. En la realidad puede haber escorrentía sin que necesariamente se haya llenado el almacenamiento capilar en el suelo. Entonces se utiliza un coeficiente para lograr que la cantidad de agua que se deje pasar corresponda a una fracción de la lluvia que está relacionada con el estado del almacenamiento capilar tal que, cuando este almacenamiento esté muy lleno deje pasar mucho, y cuando está muy vacío deje pasar poco. En este caso corresponde a:

$$D_1 = \text{Min}\{\varphi X_1, H_u - H_1\}$$

$$\varphi = 1 - \left(\frac{H_1}{H_u}\right)^\alpha$$

Este esquema ha sido utilizado por varios modelos conceptuales agregados. Es el caso del modelo HBV (Bergström, 1995 en Vélez J. I. en 2001<sup>35</sup>) en el que  $\alpha$  puede tomar valores entre 1 y 3 y es un parámetro que define el analista. Otro caso es el de los modelos GR-3J y GR-3H (Arnaud y Lavabre, 1996 en Vélez J. I. en 2001 (Vélez, 2001)) en los que  $\alpha$  es igual a 2.

La cantidad de agua que representa la evapotranspiración  $Y_1$  es función del agua disponible en el tanque y la evapotranspiración real ETR.

La ETR depende de la cantidad de agua disponible, así cuando hay déficit de agua en el suelo la evapotranspiración es menor que la evapotranspiración potencial ETP. Varios autores han utilizado una expresión en la que se obtiene un estimado de la evaporación real a partir de la

<sup>35</sup> (Vélez, 2001)

evapotranspiración potencial y de la relación entre la humedad del suelo y la humedad del suelo a la capacidad de campo. En el modelo esto equivale a la relación entre el agua que se encuentra en el almacenamiento estático y la capacidad máxima para ese almacenamiento, así:

$$Y_1 = ETP \left( \frac{H_1}{Hu} \right)^b$$

En los modelos GR-2 y GR-3 del CEMAGREF (Michel, 1989 en Vélez J. I., (2001)) se utiliza una expresión muy similar a la anterior y el parámetro  $b$  tiene un valor de 0.5. Igualmente, el modelo HBV (Bergström, 1995 en Vélez J. I., (2001)) utiliza una expresión equivalente cuando  $b = 1$ . Singh y Dickinson (1975) en Vélez J. I., (2001) obtienen buenos resultados con  $b$  igual a 0.7.

Además, en el modelo se tiene en cuenta que el valor de la evapotranspiración real no puede ser mayor que el agua disponible para evaporación en este almacenamiento estático, así:

$$Y_1 = \text{Min} \left\{ ETP \left( \frac{H_1}{Hu} \right)^b, H_1 \right\}$$

Para estimar la evapotranspiración potencial se recomendó utilizar la ecuación de Cenicafé<sup>36</sup>. De acuerdo con lo propuesto en el modelo, el agua que no ingresa al almacenamiento estático  $T_1$  sigue su camino por la zona capilar del suelo hacia abajo.

$$X_2 = X_1 - D_1$$

### c. Tanque 2: Almacenamiento del Flujo Superficial

En este almacenamiento se representa el agua que es susceptible a infiltrarse a un nivel inferior o que fluye por la ladera (escorrentía directa). Se supone que la capa superior del suelo tiene una conductividad hidráulica  $K_s$  representativa o característica y que se asocia al tipo de suelo y a su estructura, lo cual está relacionando la cobertura vegetal, el uso y manejo del suelo.

Por lo tanto, la cantidad de agua que entra al almacenamiento  $T_2$ , está relacionada con la capacidad del suelo para dejar pasar el agua a su interior  $K_s$ , una conductividad hidráulica de la capa superior del suelo asociada a la cobertura en condiciones de saturación, y con el flujo excedente del almacenamiento capilar  $X_2$  según la siguiente relación:

$$D_2 = \text{Max}\{0, X_2 - K_s \Delta t\}$$

Para el flujo superficial en la cuenca, suponiendo velocidad constante y aplicando la ecuación de continuidad, la escorrentía directa se puede representar mediante un embalse lineal:  $Y_2 = \alpha H_2$ . En donde el coeficiente de descarga  $\alpha$  es función del tiempo de residencia del agua en el interior del suelo.

$$\alpha = \frac{1}{\text{tiempo de residencia}}$$

El agua que no ingresa al almacenamiento estático  $T_2$ , sigue su camino por la zona capa superior del suelo hacia la capa inferior.

<sup>36</sup> (Barco & Cuartas, 1998)

$$X_3 = X_2 - D_2$$

*d. Tanque 3: Almacenamiento de Agua Gravitacional en la Capa Superior del Suelo*

Este almacenamiento representa al agua almacenada en la capa superior del suelo mientras fluye lentamente hacia la red de drenaje, se desarrolla inicialmente sobre una capa delgada que fluye lateralmente hacia abajo por el interior de esta capa hasta que sale a los elementos de la red de drenaje.

De acuerdo con lo propuesto en el modelo, durante el intervalo de tiempo, se tiene una cantidad de agua gravitacional  $X_3$  que se mueve verticalmente hacia el interior del suelo. De esta cantidad, una parte  $X_4$ , podrá percolar o seguir hacia la zona inferior del suelo, mientras que el resto del agua se deriva al almacenamiento superior del suelo donde se convertirá en flujo subsuperficial.

Se supone igualmente que la capa inferior del suelo tiene una capacidad de percolación representativa que se asocia al tipo de subsuelo y su estructura, lo cual está estrechamente relacionado con las características geológicas (litológicas y estructurales) y geomorfológicas de las capas inferiores del suelo. En algunos casos la capacidad de percolación y su variabilidad espacial se pueden inferir por características del relieve, algunos rasgos morfológicos, el desarrollo de la vegetación, el uso y manejo del suelo y la producción de flujo base aguas abajo. La cantidad de agua que ingresa al almacenamiento durante el intervalo de tiempo se puede asociar con el flujo excedente del almacenamiento del flujo superficial en ladera  $X_3$  y la conductividad hidráulica en la capa inferior del suelo (subsuelo) en condiciones de saturación que se conoce como capacidad de percolación  $K_p$  y que se expresa:

$$D_3 = \text{Max}\{0, X_2 - K_p \Delta t\}$$

Para la producción de escorrentía subsuperficial en la ladera se hace una formulación análoga a la presentada en el almacenamiento  $T_2$  para obtener la siguiente relación lineal.

*e. Tanque 4: Almacenamiento Subterráneo*

Se representa por un tanque donde se considera el almacenamiento del agua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el acuífero, y donde sale a formar el flujo base.

El volumen de agua que durante el intervalo de tiempo ingresa por percolación  $X_4$  tiene la posibilidad de que una cantidad de agua siga hacia las pérdidas subterráneas  $X_5$  (debido a fallas, fracturas, unidades cársticas, etc.) y que el resto sea derivado hacia el almacenamiento subterráneo  $T_4$ .

La cantidad de agua que se deriva para el flujo subterráneo depende de la cantidad de agua que ha percolado y de la cantidad que pasa a las pérdidas.

$$D_4 = \text{Min}\{0, X_4 - Kpp\}$$

Para la representación del flujo a través del almacenamiento subterráneo, se utiliza la ecuación de continuidad y una ecuación que relaciona la tasa de flujo que sale de este almacenamiento con la cantidad de agua almacenada:

$$Y_4 = \alpha H_4$$

La importancia de la representación del flujo subterráneo en la modelación de crecidas está en reproducir adecuadamente las recesiones del flujo en los cauces y que esto sea coherente con el volumen de agua que ha ingresado al almacenamiento subterráneo.

Finalmente, el caudal promedio diario total en la cuenca para cada intervalo de tiempo es la suma del flujo producido en cada tanque o almacenamiento:

$$Q = Y_2 + Y_3 + Y_4$$

### iii. Información de entrada

Entre las variables de entrada que el modelo requiere se encuentran: la evaporación potencial, la precipitación diaria, caudal diario, área de la cuenca y reconstrucción de datos faltantes.

### iv. Parámetros del modelo

En cuanto a los parámetros hidráulicos se tienen el almacenamiento capilar del suelo, la conductividad del suelo en su capa superficial e inferior; el tiempo medio de residencia del flujo superficial, subterráneo y del flujo base. Cada uno de estos parámetros tiene un intervalo de variación, y dicho rango de variación se ha definido con base en trabajos previos y los reportes de la literatura científica y con base a los valores esperados de acuerdo con el tipo de suelo del proyecto, las fallas estructurales, etc. Los parámetros y el rango de variación se muestran en la Tabla 2.38.

**Tabla 2.38 Intervalos aproximados de variación de los parámetros hidráulicos del modelo**

Parámetros Hidráulicos	Min	Max
Almacenamiento capilar (mm)	20,00	600,00
Conductividad capa superior (mm/día)	1,00	100,00
Conductividad capa inferior (mm/día)	0,01	10,00
Perdidas subterráneas (mm)	0,00	10,00
Tiempo medio de residencia flujo superficial (días)	1,00	10,00
Tiempo medio de residencia flujo subsuperficial (días)	1,00	10,00
Tiempo medio de residencia flujo base (días)	50,00	200,00

Fuente. Vélez, J. I., 2001<sup>37</sup>.

### v. Otros parámetros del modelo

Son los parámetros correspondientes a la evaporación real y a la infiltración de la cuenca: exponente de infiltración y de evaporación.

A diferencia de los parámetros hidráulicos del modelo, los exponentes de evaporación y de infiltración han sido explorados de manera más amplia por los diferentes autores y el rango de

<sup>37</sup> (Vélez, 2001)

variación de cada uno de éstos no es tan amplio, tal como se observa en la Tabla 2.39, y de los cuales ya algunos autores recomiendan dichos valores.

**Tabla 2.39 Rango de variación de otros parámetros del modelo de tanques**

Otros parámetros del modelo	Min	Max
Exponente infiltración (Se recomienda 2)	1	3
Exponente evaporación (Se recomienda 0.7)	0,25	1,5

Fuente. Vélez, J. I. (2001).

*vi. Calibración del modelo*

La calibración del modelo se realiza con información de estaciones limnimétricas o limnigráficas que cuente con suficiente información y que cumpla con los criterios de homogeneidad y consistencia presente en el 2.3.3.1.5. Validación del modelo.

El modelo de tanques fue validado, al realizar la comparación entre el caudal medio obtenido del balance hidrológico en el largo plazo en la cuenca analizada a la altura de la estación de caudal con información, y el caudal medio de los valores obtenidos de la simulación, realizada desde el año 1993 al año 2003.

*vii. Simulación de caudales diarios para las microcuencas de interés*

Para las cuencas de los afluentes directos se generaron series sintéticas a partir del modelo calibrado, para esto se utilizó como información de entrada al modelo la serie de precipitación de la estación en las cuales se tenía influencia en cada una de las cuencas, ya que se considera que los parámetros calibrados son hidrológicamente representativos para las cuencas analizadas.

H. Índice de aridez

El índice de aridez se evalúa a partir de la relación entre la diferencia de la evapotranspiración potencial y real en un periodo determinado, y permite evaluar la suficiencia o insuficiencia de la precipitación para los requerimientos de los ecosistemas (IDEAM, 2010). Como resultado se identifican áreas deficitarias o con excedentes de agua, utilizando la siguiente ecuación, donde *ETP* es la evapotranspiración potencial media (mm/año) y *ETR* evapotranspiración real media (mm/año) derivada del balance hídrico de largo plazo.

$$I = \frac{(ETP - ETR)}{ETP}$$

Mediante la ecuación ya descrita se obtienen valores entre los rangos mencionados en la Tabla 2.40, correspondientes a la clasificación del índice aridez.

**Tabla 2.40 Categorías del índice de Aridez IA**

Valor	Clasificación
< 0,15	Altos excedentes de agua
0,15- 0,19	Excedentes de agua
0,20-0,29	Moderado y excedentes de agua
0,30-0,39	Moderado
0,40-0,49	Moderado y deficitario de agua
0,50-0,59	Deficitario de agua
> 0,60	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM, 2010.

#### I. Índice de retención y regulación hídrica

El Índice de Regulación Hídrica se utiliza para medir la capacidad de una cuenca para mantener un régimen de caudales, teniendo en cuenta su capacidad de retención de humedad y la interacción entre los factores bióticos y abióticos presentes, principalmente entre el sistema suelo-vegetación y el clima, y las características morfométricas.

Para su cálculo se tienen en cuenta la distribución de las frecuencias acumuladas para los caudales diarios, empleando la siguiente expresión, donde  $V_p$  corresponde al volumen representado por el área que se encuentra debajo de la línea de caudal medio y  $V_t$  es el volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diario<sup>21</sup>. La Tabla 2.41 presenta las categorías propias de este índice y sus rangos.

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

**Tabla 2.41 Categorías de IRH**

Rango del valor	Categoría
0 – 0,50	Muy baja
0,50 – 0,65	Baja
0,65 – 0,75	Moderada
0,75 – 0,85	Alta
0,85 – 1	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2010.

#### J. Caudal ambiental

El caudal ambiental para las UAH se estimó a partir de la metodología propuesta en la resolución 865 de 2004 "Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones", en la cual se establece que éste se estima como el 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

Adicionalmente, también se estimó el caudal ambiental mediante la metodología propuesta en el ENA, 2010, donde el valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, cuando el Índice de Regulación Hídrica (IRH) es superior a 0.7 (alta retención y regulación). Para valores del IRH inferiores a 0.7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios. Una vez calculados los caudales ambientales por ambas metodologías, se

seleccionan los caudales obtenidos por el método establecido en la resolución 865 de 2004, ya que, son valores más cercanos a las condiciones de las corrientes analizadas, de acuerdo con los órdenes de magnitud de los caudales mínimos estimados.

#### K. Caudales mínimos

Se realizó la estimación de los caudales mínimos asociados a los periodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, mediante un análisis de frecuencia. Las series de tiempo simuladas se ajustaron a las distribuciones de probabilidad de Valor Extremo Tipo I o Gumbel y Lognormal, mediante las expresiones mostradas en la Tabla 2.42.

**Tabla 2.42 Distribuciones de probabilidad empleadas**

Distribución	Función de densidad de probabilidad	Parámetros
Lognormal	$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$	$z = \frac{y - \bar{y}}{S_y}$ $y = \ln(x)$
Gumbel	$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right)$	$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$ $\alpha = \frac{\sqrt{6 * S_x}}{\pi}$

Fuente: Chow, Maidment, & Mays, 1994<sup>38</sup>

Se empleó el factor de frecuencia ( $K_T$ ) para determinar los caudales mínimos asociados a los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, así como el error estándar  $S_e(T)$  para determinar las bandas de confianza de ambas distribuciones como se muestra en la Tabla 2.43 cabe resaltar que el análisis para la distribución Lognormal se realizó en el espacio de los logaritmos naturales con sus respectivos estadísticos.

**Tabla 2.43 Expresiones para el cálculo del factor de frecuencia y el error estándar**

Distribución	Expresiones para $K_T$ y $S_e(T)$
Lognormal	$K_T = z \text{ donde}$ $z \text{ se estima a partir de una probabilidad de excedencia } p = \left(\frac{1}{T_r}\right)$ $S_e = S_x \sqrt{\frac{2 + z^2}{N}}$
Gumbel	$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} * \left\{0,5772 + \ln \left[-\ln \left(\frac{1}{T_r}\right)\right]\right\}$ $S_e(T) = S_x \sqrt{\frac{1 + 1,1396K_T + 1,1K_T^2}{N}}$

<sup>38</sup> (Chow, 1994)

Fuente: Chow, Maidment, & Mays, 1994<sup>39</sup>

De esta manera, el caudal mínimo asociado a un período de retorno dado se obtiene usando la siguiente expresión:

$$Q_{Tr} = \mu + K_{Tr} * \sigma$$

Por su parte, las bandas de confianza se establecen como:

$$\text{Limite superior} = x_T + Z_{\frac{\alpha}{2}} * S_e$$

$$\text{Limite inferior} = x_T - Z_{\frac{\alpha}{2}} * S_e$$

#### L. Caudales máximos

Debido a que las corrientes de las cuencas de interés en la zona de estudio corresponden a cuencas no instrumentadas, fue necesario recurrir a métodos indirectos como son los denominados modelos lluvia – escorrentía para estimar las crecientes a partir de la aplicación de hidrogramas sintéticos.

A continuación, se hace una síntesis de las consideraciones más importantes, utilizadas en el desarrollo de este tipo de modelos.

##### 1. Curvas de intensidad Duración-Frecuencia (IDF)

Para la determinación de los caudales máximos a partir de modelos lluvia-escorrentía es necesario definir la profundidad de precipitación máxima que se espera tener con un determinado periodo de recurrencia, las curvas IDF permiten conocer el comportamiento de la precipitación y la intensidad máxima que se espera durante determinada duración para diferentes periodos de retorno. Dado que no existen unas curvas desarrolladas específicamente para las estaciones empleadas, se acudió a la metodología de Vargas y Díaz-Granados (1997) de la Universidad de Los Andes<sup>40</sup>. La ecuación de la intensidad por la metodología de Vargas y Díaz-Granados (1997) es la siguiente:

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{t^c}$$

Dónde  $I$  Intensidad de precipitación (mm/h),  $T$  Periodo de retorno (años),  $M$  Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual,  $t$  Duración de la lluvia (min) y  $a, b, c, d$ : Parámetros de ajuste de la regresión correspondientes a la región.

#### M. Precipitación de diseño

En la determinación de la precipitación de diseño se debe estimar la cantidad de masa precipitada para cierta duración de la lluvia, y cómo se distribuye temporalmente la lluvia. En ambos casos se usan las curvas IDF.

<sup>39</sup> (Chow, 1994)

<sup>40</sup> (Vargas & Diaz-Granados, 1997)



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Con base en la curva IDF se calcula la cantidad de masa precipitada las cuencas de análisis, para cada período de retorno, mediante la ecuación:

$$P = I * D$$

Dónde  $P$  es la precipitación total del evento [mm],  $I$  es la intensidad de la precipitación [mm/h] y  $D$  es el tiempo de concentración [minutos].

Para obtener la precipitación en las cuencas se tomó en cuenta el factor de ponderación calculado a partir de los polígonos de Thiessen.

#### N. Distribución temporal de la lluvia

En los modelos lluvia-escorrentía, para determinar la tormenta de diseño, es necesario hallar la distribución de la lluvia en el tiempo. Para este propósito existen diferentes metodologías (Diagrama de Huff, Histograma triangular, Bloque alterno).

Para el presente estudio, los valores de distribución de la lluvia en el tiempo fueron tomados del Diagrama de Huff (Figura 2.15) para el primer cuartil (más severos) con una probabilidad de ocurrencia del 50%<sup>41</sup>. En este caso, para incrementos correspondientes al 10% del tiempo de duración de la tormenta, se realizó una lectura de este valor en el diagrama de Huff y se determinó el valor de la lluvia para ese tiempo.

---

<sup>41</sup> (Chow, 1994)

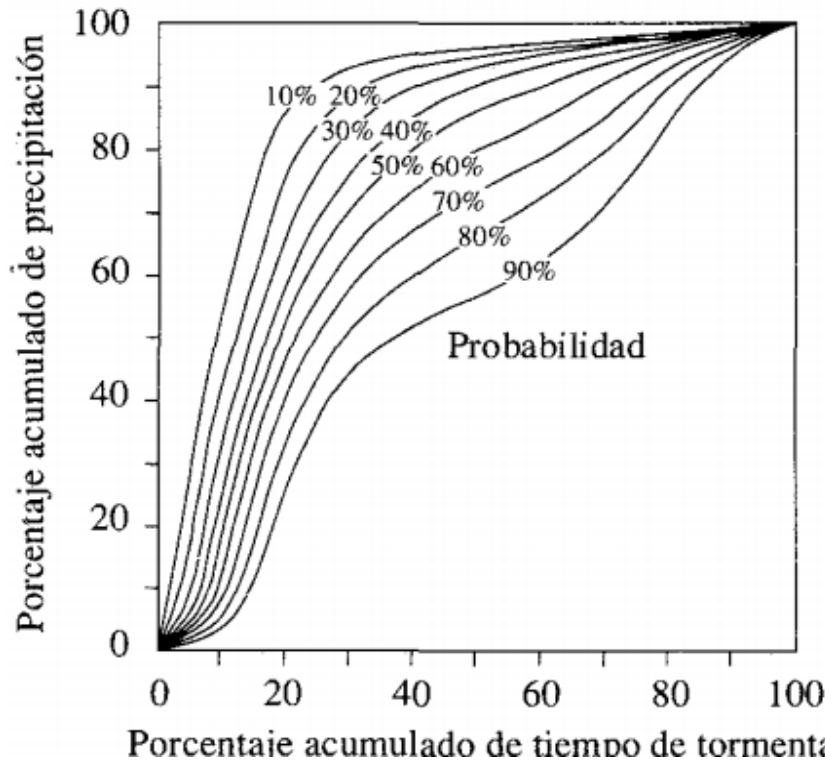


Figura 2.15 Diagrama distribución temporal de la lluvia, según Huff (1967)  
Fuente. Chow, V. T., 1994

#### O. Precipitación efectiva

Para el cálculo de los hietogramas de precipitación efectiva se empleó la metodología del Soil Conservation Service, mediante la cual se sustrae del hietograma de profundidades, la retención y la infiltración estimada para cada período de retorno, a partir del Número de Curva. Con el número de curva ( $CN$ ) se calcula la capacidad de almacenamiento ( $S$ ) y la infiltración inicial del suelo ( $I_a$ ), mediante las siguientes ecuaciones, cuyos resultados se presentan en la siguiente ecuación:

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25,4$$

$$I_a = 0,2 * S$$

Posteriormente, se realiza el cálculo de los hietogramas de precipitación efectiva para cada periodo de retorno, mediante la siguiente ecuación, donde  $P_e$  es la precipitación efectiva acumulada y  $P$  es la precipitación total acumulada.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.8 S}$$

### I. Numero de curvas

De acuerdo con este método, la capacidad de la infiltración del suelo, representada con el número de curva, en una cuenca depende de:

#### i. Uso y tratamiento del suelo

El uso y tratamiento del suelo para las cuencas de interés se estableció de acuerdo con el Mapa de Coberturas de la Tierra del año 2020, en escala 1:100.000, elaborado el IDEAM, disponible en el portal de información oficial del SIAC, adicionalmente, se utilizó la capa de coberturas generada para el área de influencia.

#### ii. Definición del grupo hidrológico

El grupo hidrológico del suelo se definió de acuerdo con las características de éste, reportadas en el mapa Digital de Suelos del año 2014, en escala 1:100.000, elaborado por el IGAC, así como las características observadas en campo.

### P. Modelo hidrológico

#### I. Método de Snyder

El modelo propone calcular el caudal pico de la crecida por milla cuadrada  $u_p$ , mediante la siguiente expresión:

$$u_p = C_p \frac{640}{T_R}$$

Donde  $u_p$  es el caudal pico del Hidrograma Unitario por unidad de área en  $\text{pie}^3/\text{s}.\text{mi}^2$ ,  $C_p$  es un coeficiente y  $T_R$  es el tiempo de rezago. El coeficiente  $C_p$  depende de la topografía de la cuenca variando entre 0,5 y 0,8, por ejemplo, para cuencas de alta pendiente se recomienda emplear valores cercanos a 0,8 (menor atenuación del hidrograma de respuesta). Este coeficiente puede ser obtenido si se tiene información simultanea de precipitación y caudal de la cuenca, lo cual solo es posible en cuencas instrumentadas.

Cuando el hidrograma unitario sintético a construir corresponda a una precipitación efectiva cuya duración coincide con el tiempo de concentración, el caudal pico del hidrograma unitario por unidad de área puede calcularse con la ecuación anterior, en caso contrario si la duración de la lluvia es diferente puede calcularse como:

$$U_p = C_p \frac{640}{[T_R + (T - t_s)/4]}$$

Donde T es la duración de la precipitación efectiva en horas y  $t_s$  es la duración de la lluvia efectiva en horas.

Una vez obtenido el caudal pico por unidad de área de la cuenca, el caudal pico total se obtiene como:

$$U_p = U_p A_c$$

Donde  $A_c$  es el área de la cuenca en  $\text{mi}^2$ , y  $U_p$  es el caudal pico total del Hidrograma Unitario Sintético en  $\text{pie}^3/\text{s}/\text{pul}$ .

## II. Tiempo al pico

El tiempo puede calcularse como:

$$T_p = \frac{T}{2} + T_R$$

Donde  $T_p$  es el tiempo al pico en horas,  $T$  es la duración de la lluvia en horas y  $T_R$  es el tiempo de rezago en horas.

## III. Tiempo de rezago

El modelo emplea como definición de tiempo de rezago (TR), el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. Se asume que el rezago es constante para una cuenca, ya que depende de algunas características físicas y no está determinado por el tipo de lluvia o sus variaciones. El tiempo de rezago se calcula mediante la siguiente ecuación de regresión:

$$T_R = \frac{L_c^{0,8}(S + 1)^{0,7}}{1.900S_c^{0,5}}$$

Donde  $T_R$  es el tiempo de rezago en horas,  $L_c$  es la longitud del canal principal en pies,  $S$  es el factor de retención o almacenamiento calculado en términos del número de curva CN y  $S_c$  es la pendiente de la cuenca en porcentaje. Para las cuencas en donde se obtienen tiempos de rezago mayores que el tiempo de concentración se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$T_R = 0,6T_c$$

## IV. Duración de la lluvia

Snyder consideró lluvias que estuvieran de acuerdo con el tamaño de la cuenca, definiendo para ellas una duración de (1/5,5) veces el tiempo de rezago de la cuenca, es decir:

$$t_s = \frac{T_R}{5,5}$$

Donde  $t_s$  es la duración de la lluvia efectiva en horas.

## V. Duración de la escorrentía superficial

Para el cálculo del tiempo base del Hidrograma Unitario se propone la siguiente ecuación:

$$t_b = 3 + 3 \frac{T_R}{24}$$

Donde  $t_b$  es el tiempo base en días con  $T_R$  en horas. Esta ecuación da una estimación razonable del tiempo base para cuencas grandes, pero produce valores excesivamente altos para cuencas pequeñas. En estas, el tiempo base puede calcularse (en forma aproximada) como 3 a 5 veces el tiempo al pico.

## VI. Esquematación de la hidrógrafa

El Cuerpo de Ingenieros de los EEUU introdujo después de los estudios de Snyder dos ecuaciones adicionales a este modelo, con el objeto de obtener otros cuatro puntos del Hidrograma Unitario Sintético de Snyder que facilitan su definición. Estas ecuaciones son:

$$W_{50} = \frac{770}{U_p^{1,08}} \quad W_{75} = \frac{440}{U_p^{1,08}}$$

Dónde:  $U_p$  es el caudal pico por unidad de área en  $\text{pie}^3/\text{s mi}^2$ ,  $W_{50}$  es el intervalo de tiempo en horas correspondiente al 50% del caudal pico y,  $W_{75}$  es el intervalo de tiempo en horas correspondiente al 75% del caudal pico.

En la Figura 2.16 se presenta cada intervalo de tiempo ubicado en la curva, de tal forma que su tercera parte quede a la izquierda de la vertical que pasa por el pico del Hidrograma Unitario y las otras dos terceras partes a la derecha de dicha línea.

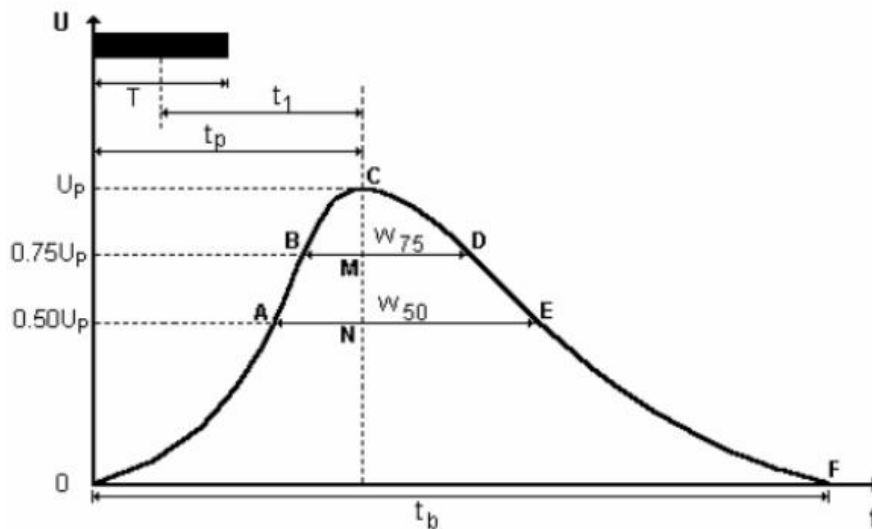


Figura 2.16 Esquemización del hidrograma Unitario Sintético de Snyder

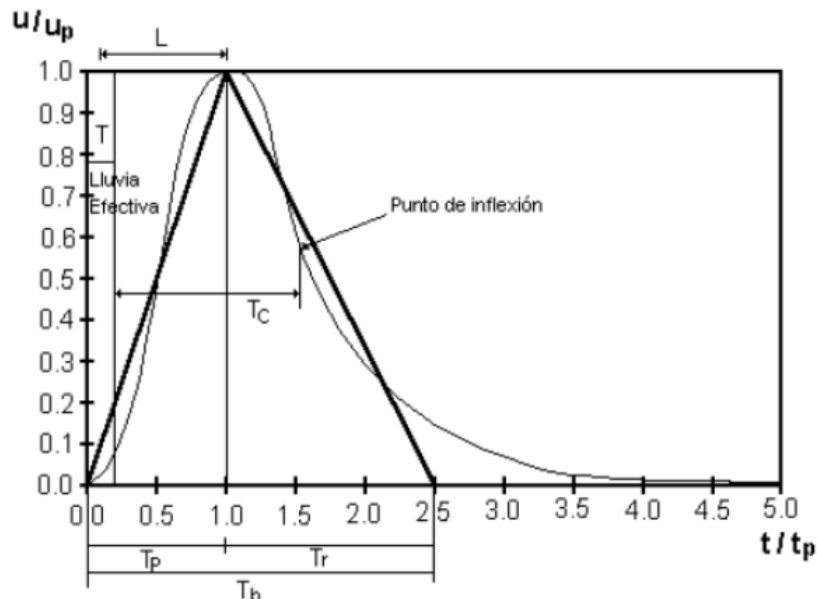
Fuente: CHOW et. al, 1994

#### Q. Método de SCS

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, SCS), actualmente conocido como El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (Natural Resources Conservation Service - NRCS) desarrolló un Hidrograma Unitario Adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a cuencas de diversos tamaños y ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos.

##### 1. Relación entre tiempos característicos

El Hidrograma Unitario adimensional curvilíneo del S.C.S puede ser representado por un Hidrograma Unitario Triangular equivalente, con las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo por consiguiente el mismo porcentaje del volumen en el lado creciente del Hidrograma como se presenta en la Figura 2.17.



**Figura 2.17 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S**

Fuente: Chow, Maidment, & Mays, 1994

*i. Caudal pico*

El caudal pico en pies cúbicos por segundo por pulgada se puede calcular como:

$$U_p = \frac{484A_c}{T_p}$$

Donde  $U_p$  es el caudal pico correspondiente a un Hidrograma Unitario,  $A_c$  es el área de la cuenca en millas cuadradas y  $T_p$  es el tiempo al pico en horas.

*ii. Tiempo de concentración según SCS*

El método del SCS utiliza el tiempo de concentración, definido como el tiempo que demora la escorrentía en llegar desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de aforo, o de manera equivalente, el tiempo que transcurre desde el final de la lluvia efectiva hasta el punto de inflexión de la rama decreciente del Hidrograma Unitario. Con base en esto, el SCS propone una relación promedio entre el tiempo de rezago,  $T_R$  y el tiempo de concentración,  $T_C$  como:

$$T_c = \frac{5}{3T_R}$$

El tiempo de rezago,  $T_R$  definido como el tiempo en horas desde el centroide del hietograma de la precipitación efectiva hasta el caudal pico del hidrograma unitario, puede calcularse como:

$$T_R = \frac{L_c^{0,8}(S + 1)^{0,7}}{1,900S_c^{0,5}}$$

Donde  $L_c$  es la longitud del canal principal en pies,  $S_c$  es la pendiente promedio de la cuenca en porcentaje y  $S$  es el factor de retención o almacenamiento en pulgadas.

El factor de retención o almacenamiento  $S$  se obtiene del método del S.C.S para pérdidas mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde  $CN$  es el Número de Curva

iii. *Duración hidrograma Unitario*

El tiempo al pico,  $T_p$  está dado como:

$$T_p = \frac{T}{2} + T_R$$

En donde  $T$  es la duración de la lluvia efectiva en horas y  $T_R$  es el tiempo de rezago en horas.

La relación promedio entre el rezago y el tiempo de concentración, puede escribirse de la siguiente manera:

$$T_R = 0,6T_c$$

Los valores del tiempo de rezago según esta expresión son los mismos obtenidos para el Hidrograma Unitario de Snyder.

Se puede demostrar que la relación entre la duración  $T$  de la precipitación efectiva a la que se le va a construir el hidrograma unitario y el tiempo de concentración está dada por la siguiente expresión:

$$T = 0,13T_c$$

iv. *Método Williams y Hann*

Este modelo calcula el hidrograma unitario sintético producido por una lluvia instantánea en una cuenca, a partir de sus principales características geomorfológicas.

Las características geomorfológicas de la cuenca están representadas por el modelo mediante las constantes de recesión  $K$  y el tiempo al pico  $T_p$ .

$$K = 27A_c^{0,231}S_{cp}^{-0,777}\left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{0,124}$$

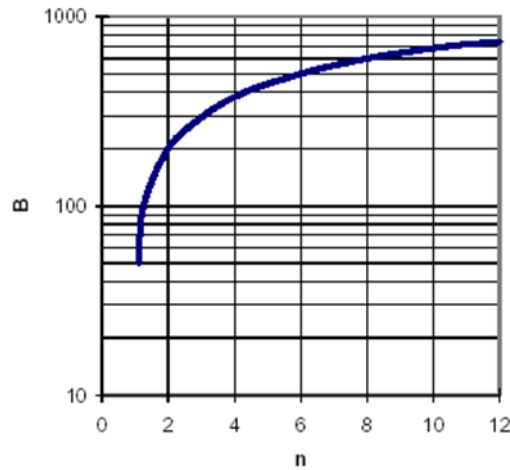
$$T_p = 4,63A_c^{0,422}S_{cp}^{-0,46}\left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{0,133}$$

Donde,  $A_c$  = Área de la cuenca en (mi<sup>2</sup>),  $S_{cp}$  = Pendiente media del canal principal (pies/milla),  $L_c/W_c$  = Relación largo-ancho de la cuenca,  $K$  = Constante de recesión (h) y  $T_p$  = Tiempo al pico en (h).

El parámetro  $n$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$n = 1 + 2 \left\{ \frac{1}{2(K/T_p)} + \left[ \frac{1}{4(K/T_p)^2} + \frac{1}{(K/T_p)} \right]^{1/2} \right\}^2$$

El parámetro B mediante la Tabla 2.21.



**Figura 2.18 Curva parámetro B vs n**  
Fuente: Chow, Maidment, & Mays, 1994

El tiempo  $T_0$  y el tiempo  $T_1$  están definidos por:

$$T_0 = T_p \left[ 1 + \frac{1}{(n-1)^{0.5}} \right]$$

$$T_1 = T_0 + 2K$$

$U_p$  en pie<sup>3</sup>/s/pul con la siguiente expresión

$$U_p = \frac{BA}{T_p}$$

Cálculo de  $U_0$  y  $U_1$  correspondiente al tiempo  $T_0$  y  $T_1$  respectivamente

$$U_0 = \left( \frac{T_0}{T_p} \right)^{n-1} e^{[(1-n)\left(\frac{T_0}{T_p}-1\right)]}$$

$$U_1 = U_0 e^{\left[\frac{T_0-T_1}{K}\right]}$$

Finalmente se determina la forma del hidrograma unitario sintético con las siguientes ecuaciones:

$$U(t) = U_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{n-1} e^{[(1-n)\left(\frac{t}{T_p}-1\right)]} \quad \text{Para } t \leq T_0$$

$$U(t) = U_0 e^{\left[\frac{t_0-t}{K}\right]} \quad \text{Para } T_0 < t \leq T_1$$

$$U(t) = U_1 e^{\left[\frac{t_1-t}{3K}\right]} \quad \text{Para } t > T_1$$

v. *Método Racional*

La fórmula del Método Racional varía de acuerdo con el sistema de unidades utilizado. En la siguiente ecuación se presenta una de las expresiones más conocidas:

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

Donde C es el coeficiente de escorrentía, I la intensidad de la lluvia y A, el área de la cuenca.

El método cuenta con algunas restricciones:

- El método proporciona solamente un caudal pico, no el hidrograma de creciente.
- El método racional asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación (si duplica la precipitación, la escorrentía se duplica también). En la realidad esto no es cierto, pues la escorrentía depende también de muchos otros factores tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad del suelo, etc.
- El método asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos lo que no es cierto. La precipitación es filtrada por la cuenca para producir escorrentía y ese filtro no es lineal. La transformación de precipitación en escorrentía se ve afectada por las características de la cuenca, el estado de la cuenca al momento de la lluvia y otros factores. Por ejemplo, precipitaciones con períodos de retorno pequeños pueden producir caudales con períodos de retorno mayores, debido a las condiciones de humedad de la cuenca en el momento en que ocurra la tormenta.
- El coeficiente de escorrentía depende en gran medida de las condiciones de humedad antecedente de la cuenca, que a su vez dependen de las tormentas que hayan ocurrido antes.

vi. *Resultados caudales*

Se realizó los análisis de caudales máximos estimados mediante los métodos de las hidrógrafas unitarias Snyder, SCS y Williams y Hann (WyH).

R. *Oferta hídrica*

A partir de los resultados obtenidos del modelo lluvia escorrentía, se realizó el cálculo de la oferta hídrica media anual para las condiciones de año hidrológico medio. La oferta hídrica se define como el volumen de agua disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre<sup>42</sup>. De acuerdo con la resolución 865 de 2004 la cuantificación de la oferta hídrica total disponible surge de reducir la oferta hídrica total superficial (cuantificada por el caudal medio anual) por el caudal ambiental.

S. *Dinámica fluvial*

De acuerdo con la información recopilada y los estimativos realizados en capítulos anteriores, se realiza un análisis general de la dinámica fluvial de los cauces propensos a intervención. Con información recopilada en campo y análisis multitemporal de imágenes satelitales.

---

<sup>42</sup> (MAVDT, 2004)

### 2.3.3.1.6 Calidad del agua

#### A. Información del monitoreo

##### I. *Fecha y tipo de muestreo*

El día 5 de diciembre de 2024 y el día 21 de enero del 2025, se llevó a cabo la primera y segunda campaña de monitoreo para el proyecto, el cual comprendió cuatro (4) puntos de muestreo distribuidos en un (1) jagüey y tres (3) fuentes superficiales.

**Tabla 2.44 Puntos de monitoreo de calidad del agua**

Código	Coordenadas - Magna Colombia Origen Nacional		Tipo de Cuerpo hídrico
	X [m]	Y[m]	
D3 AR	4.620.225,05	2.360.358,86	Lótico
D3 AB	4.620.033,32	2.360.247,19	Lótico
D2 AB	4.620.020,44	2.359.639,79	Lótico
JY	4.620.260,13	2.359.489,33	Léntico

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

##### II. *Muestreo puntual*

Para la realización del muestreo puntual se siguió el Procedimiento de Toma de Muestras de Agua establecido en el Laboratorio ALTA BIOTECNOLOGIA COLOMBIANA ABC S.A.S el cual se encuentra acreditado según Resolución 2114 del 23-09-2022 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Para realizar el muestreo simple se determinó el volumen necesario de la muestra, teniendo en cuenta los volúmenes requeridos para efectuar cada uno de los ensayos en el laboratorio. Se efectuó la toma directamente de la fuente a través de un balde o en otro dispositivo, el cual se purga previamente, evitando cualquier tipo de contaminación cruzada; seguidamente, se procede al llenado de los envases previamente rotulados, hasta completar la cantidad de muestra necesaria para el análisis. Adicionalmente, se realizan mediciones in situ de pH, temperatura, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y conductividad.

La toma de muestra para grasas y aceites bacteriológicos e hidrocarburos es directa en la fuente. Además, se llevaron a cabo los procesos de aseguramiento de calidad realizando la verificación de los equipos de campo, los cuales hacen parte del listado maestro de equipos de laboratorio y cuentan con un programa de mantenimiento y calibración.

##### III. *Responsable de toma y análisis de muestra*

El laboratorio encargado de la toma de las muestras fue Alta Biotecnología Colombiana S.A.S, el cual está acreditado según la Resolución 2114 del 23 de septiembre de 2022 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La recolección, manipulación, preservación, transporte y almacenamiento de muestras se realizó teniendo en cuenta lo establecido en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del agua 2021 del IDEAM.

El análisis de las muestras estuvo a cargo de Alta Biotecnología Colombiana S.A.S, Hidrolab, y Agualimsu S.A.S, aplicando las metodologías establecidas por el Standard Methods Ed. 23th, 2017<sup>43</sup>.

El desarrollo de la campaña de monitoreo consideró las adecuadas prácticas para el almacenamiento y transporte de las muestras. Para todas las muestras se garantizó la correcta preservación hasta su procesamiento.

A continuación, en la Tabla 2.45 se muestran los distintos parámetros, laboratorios y resoluciones de acreditación para la toma y procesamiento de las muestras.

**Tabla 2.45 Laboratorios involucrados en la toma de muestras y análisis**

Parámetro	Laboratorio	Resolución de acreditación
pH	Alta Biotecnología Colombiana S.A.S	Resolución 2114 del 23 de septiembre de 2022
Temperatura		
Conductividad		
Oxígeno Disuelto		
Saturación de Oxígeno		
Sólidos Suspendidos Totales		
Sólidos Sedimentables		
Sólidos Disueltos Totales		
Turbidez		
Demanda Química Oxígeno	Agualimsu S.A.S	Resolución 2866 del 22 de diciembre de 2022
Demanda Bioquímica Oxígeno		
Coliformes Totales		
Coliformes Fecales		
Coliformes Termotolerantes		
Grasas y Aceites	Hidrolab Colombia LTDA	Resolución 0420 del 10 de mayo de 2024
Arsénico		
Bario		
Cadmio		
Cinc		
Cobre		
Coefficiente de absorción espectral 436 nm		
Coefficiente de absorción espectral 525 nm		
Coefficiente de absorción espectral 620 nm		
Cromo		
Fenoles		
Fosforo Total		
Mercurio		
Níquel		
Nitrógeno Kjeldahl		
Plata		
Plomo		
Selenio		

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

<sup>43</sup> (APHA. A, 1995)

#### IV. Métodos de análisis

En la Tabla 2.46 se presentan los parámetros in situ y los parámetros de laboratorio medidos en la campaña de monitoreo, así como la referencia del método de análisis empleado.

**Tabla 2.46 Métodos de análisis para los parámetros de calidad del agua evaluados**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
pH	SM 4500-H+B
Temperatura	SM 2550 B
Conductividad Eléctrica	SM 2510 B
Oxígeno Disuelto	SM 4500-O, G
Saturación de Oxígeno	SM 4500-O, G
Turbidez	SM 2130 B
Demanda Química Oxígeno	SM 5220 D
Demanda Bioquímica Oxígeno	SM 5210 B, ASTM D888-18 Método C
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F
Sólidos Disueltos Totales	SM 2540 C
Grasas y Aceites	SM 5520 C
Fósforo Total	SM 4500 P, B4, C, D
Nitrógeno Kjeldahl	SM 4500 Norg C Modificado, 4500 NH3 B, C
Coliformes Totales	SM 9221 B
Coliformes Fecales	SM 9221 E
Fenoles Totales	SM 5530 B, D
Arsénico	SM 3030 K, SM 3114 C Modificado
Bario	EPA 3015 A SM, 3120 B
Cadmio	EPA 3015 A SM, 3120 B
Cinc	EPA 3015 A SM, 3120 B
Cobre	EPA 3015 A SM, 3120 B
Cromo	EPA 3015 A SM, 3120 B
Mercurio	EPA 3015 A SM, 3120 B
Níquel	EPA 3015 A SM, 3120 B
Plata	EPA 3015 A SM, 3120 B
Plomo	EPA 3015 A SM, 3120 B
Selenio	EPA 3015 A SM, 3120 B
Alcalinidad Total	SM 2320 B
Dureza Cálcica	SM 3500-Ca B
Color Real a 436 nm	ISO 7887:2011 Método B
Color Real a 525 nm	ISO 7887:2011 Método B
Color Real a 620 nm	ISO 7887:2011 Método B

Fuente: Alta Biotecnología Colombiana S.A.S, 2025.

#### T. Determinación de índices de calidad del agua

##### I. Índice de Calidad del Agua – ICA

El Índice de Calidad del Agua (ICA) en corrientes superficiales, 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 cinco o seis variables fisicoquímicas básicas

(IDEAM). Para este caso, el cálculo del índice ICA se realiza con la metodología establecida por el IDEAM.

Para cada una de las variables se construye una “relación funcional” o “curva funcional” (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada gráfico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante.

Las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por Ramírez y Viña (1998) para oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), y conductividad eléctrica (CE), la propuesta por Universitat Politècnica de Catalunya (2006) para demanda química de oxígeno (DQO), la propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (Estados Unidos) para pH y la propuesta por Rueda (2008) para la relación N/P.

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left( \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right) |$$

Donde:

*ICAnjt* Es el Índice de Calidad del Agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua *j* en el tiempo *t*, evaluado con base en *n* variables.

- *Wi* Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad *i*.
- *Iikjt* Es el valor calculado de la variable *i* (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo *j*, registrado durante la medición realizada *k*, del período de tiempo *t*.
- *n* Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; *n* es igual a 5 o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de categorización permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente).

**Tabla 2.47. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA**

Descripción	Ámbito numérico	Color
Bueno	0,91 – 1	
Aceptable	0,71 – 0,9	
Regular	0,51 – 0,7	
Malo	0,26 – 0,5	
Muy malo	0 – 0,25	

Fuente: (IDEAM, 2023)<sup>44</sup>

<sup>44</sup> (IDEAM, 2023)

## II. Índices de contaminación

### i. Índice de Contaminación por Mineralización – ICOMI

Se expresa en numerosas variables; de ellas se eligieron: conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio y alcalinidad por que hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos<sup>45</sup>.

$$ICOMI = 1/3(I_{\text{CONDUCTIVIDAD}} + I_{\text{DUREZA}} + I_{\text{ALCALINIDAD}})$$

Donde  $I_{\text{CONDUCTIVIDAD}}$ ,  $I_{\text{DUREZA}}$  e  $I_{\text{ALCALINIDAD}}$  corresponden a los índices de cada una de las variables, los cuales se calculan de la siguiente manera.

#### Conductividad

- $\text{Log}_{10} I_{\text{Conductividad}} = -3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} * \text{Conductividad}(\mu\text{S}/\text{cm})$
- $I_{\text{Conductividad}} = 10^{\text{Log} I_{\text{Conductividad}}}$
- Conductividades mayores a 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tienen un índice de conductividad = 1

#### Dureza

- $\text{Log}_{10} I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \text{Log}_{10} * \text{Dureza}(\text{g}/\text{m}^3)$
- $I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log} I_{\text{Dureza}}}$
- Durezas mayores a 110  $\text{g}/\text{m}^3$ , tienen un índice de dureza = 1
- Durezas menores a 30  $\text{g}/\text{m}^3$ , tienen un índice de dureza = 0

#### Alcalinidad

- $I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 * \text{Alcalinidad}(\text{g}/\text{m}^3)$
- Alcalinidades mayores a 250  $\text{g}/\text{m}^3$ , tienen un índice de alcalinidad = 1
- Alcalinidades menores a 50  $\text{g}/\text{m}^3$ , tienen un índice de alcalinidad = 0

### ii. Índice de Contaminación por Materia Orgánica – ICOMO

Se expresa en diferentes variables que incluyen la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes totales, ya que ellas reflejan fuentes diferentes de contaminación orgánica, así como el porcentaje de saturación del oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del ecosistema ante este tipo de polución.

Se define de la siguiente manera:

$$ICOMO = 1/3 (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes Totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}})$$

Dónde:

$$I_{\text{DBO}} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10}. \text{DBO}(\text{mg}/\text{L}).$$

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10}. \text{Col. Tot.}(\text{NMP}/100 \text{ ml}).$$

$$I_{\text{oxígeno}} = 1 - 0,01 \text{oxígeno \%}$$

DBO mayores a 30  $\text{mg}/\text{L}$  tienen un  $I_{\text{DBO}} = 1$

DBO menores a 2  $\text{mg}/\text{L}$  tienen un  $I_{\text{DBO}} = 0$

<sup>45</sup> (Ramírez & Viña, 1998)

Coliformes totales mayores a 20.000 NMP/100 ml, tienen un  $I_{\text{Coliformes Totales}} = 1$   
 Coliformes totales menores a 500 NMP/100 ml, tienen un  $I_{\text{Coliformes Totales}} = 0$   
 Oxígenos (%) mayores a 100%, tienen un  $I_{\text{Oxígeno \%}} = 0$

vii. *Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos – ICOSUS*

Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ Sólidos Suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L tienen ICOSUS = 0

viii. *Índice de contaminación por pH-ICOpH*

Para el cálculo del ICO pH, se determina de la siguiente manera:

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$$

2.3.3.1.7 Usos del agua

En este capítulo se presenta las metodologías para la identificación de usos y usuarios actuales y proyectados de las corrientes que pueden verse afectados por las actividades del proyecto. Inicialmente, para el análisis de los usos se tomó en consideración la base de datos de la autoridad ambiental Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA. Adicionalmente, para estos cuerpos de agua, se presentan el cálculo de la demanda hídrica real y el cálculo de la demanda potencial, demanda hídrica por vertimientos teniendo en cuenta los futuros usos y usuarios en estos cuerpos de agua.

Por otra parte, con base en las Unidades de Análisis Hidrográfico delimitadas en el capítulo de Hidrología se estiman los diferentes indicadores del recurso hídrico como: el Índice de Uso de agua (IUA) y el Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH), cuyo cálculo se basa en los lineamientos determinados por el IDEAM; lo anterior, se realiza con el fin de responder a los cuestionamientos sobre la disponibilidad del recurso.

A. Indicadores del recurso hídrico

Para explicar el estado en cuanto a la disponibilidad del agua en el área de influencia del proyecto, se estiman varios Indicadores Hídricos que pretenden responder a los cuestionamientos sobre restricciones por afectaciones a la oferta. Estos índices están asociados a la intervención antrópica (Índice de Uso del Agua - IUA, Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento- IVH).

1. *Índice de Uso del Agua – IUA*

El IUA permite determinar la cantidad de agua que utilizan los diferentes sectores en un periodo de tiempo y una unidad espacial específicos, frente a la oferta hídrica disponible neta a la misma escala. De esta manera se establece la presión que ejerce la demanda sobre la oferta disponible. Para calcular el IUA se utiliza la siguiente ecuación, donde  $D_h$  es la demanda hídrica total y  $O_h$  es

la oferta hídrica superficial disponible<sup>46</sup>. Los valores del índice se clasifican según lo descrito en la Tabla 2.48.

$$IUA = \frac{Dh}{Oh} *$$

**Tabla 2.48 Clasificación para los valores del Índice de Uso de Agua**

Rango	Categoría	Descripción
0,0 – 1,0	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta
1,0 – 10,0	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta
10,01 – 20,0	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta
20,01 – 50,0	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta
50,01 – 100,0	Muy alto	La presión demanda es muy alta con respecto a la oferta
> 100,0	Crítico	La presión de la demanda es más alta que la oferta

Fuente: (IDEAM, 2010)

*i. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por desabastecimiento*

El IVH mide el grado de fragilidad del sistema ante eventos que puedan amenazar su capacidad para mantener la oferta hídrica. Se determina a partir de una matriz de decisión entre la relación de rangos de los resultados del IRH y el IUA, mostrada en la Tabla 2.49.

**Tabla 2.49 Matriz de relación entre IUA e IRH para la estimación del IVH**

Índice de Uso del Agua (IUA)		Índice de Regulación Hídrica (IRH)			
Rango	Categoría	Alta	Moderado	Baja	Muy Baja
<1	Muy bajo	Muy Baja	Baja	Media	Media
1-10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10-20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20-50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
50-100	Muy Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
>100	Crítico	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: (IDEAM, 2010)

### 2.3.3.1.8 Hidrogeología

El objetivo de la caracterización hidrogeológica es definir el potencial de las rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, la productividad de los acuíferos, su geometría y la extensión, la calidad del agua; la recarga, tránsito y descarga, y describir el funcionamiento del sistema hidrogeológico, para valorar la posible afectación del recurso hídrico subterráneo frente a las actividades que se deriven de la ejecución del proyecto.

La elaboración de este informe incluye la recopilación, análisis y validación de información existente y levantamiento de información en campo, que contempla el inventario de puntos de agua subterránea, siempre y cuando dichos puntos se encuentren localizados dentro del área de influencia del proyecto.

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y caracterización de las unidades, se siguen los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, adoptando la nomenclatura de la

<sup>46</sup> (IDEAM, 2010)

Asociación Internacional de Hidrogeólogos – IAH (Leyenda internacional de los Mapas Hidrogeológicos<sup>47</sup>, que se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas de acuerdo con el potencial de las rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad geológica.

Para la caracterización hidrogeológica se presentan además los resultados de los recorridos de campo realizados en el área de influencia abiótica. Con base en esto y en la información disponible consultada y revisada, se definen las unidades hidrogeológicas locales para plantear el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC), que corresponde a la determinación de la dinámica del agua subterránea en la zona, incluyendo el análisis de los parámetros fisicoquímicos tomados in situ. Este modelo es una aproximación inicial de las condiciones del agua subterránea en el área de interés, que puede ser refinado en la medida que se cuente con más información.

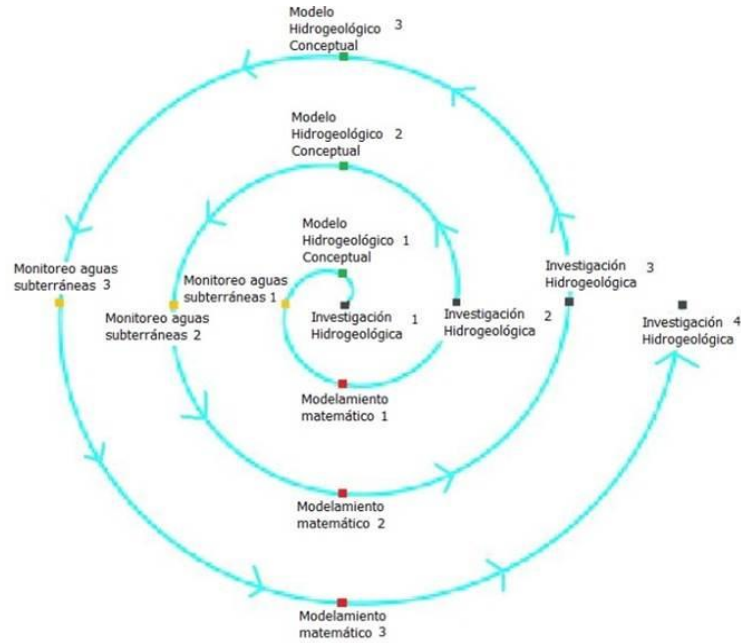
Vale la pena mencionar que un Modelo Hidrogeológico Conceptual se basa en una serie de hipótesis y asunciones que reducen el problema del flujo del agua subterránea y el dominio real del medio subterráneo a una versión simplificada de la realidad para representar de manera adecuada los mecanismos de recarga, almacenamiento, tránsito y descarga de agua subterránea.

Un Modelo Hidrogeológico Conceptual tiene en cuenta aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeoquímicos, hidrológicos, hidrogeológicos y climáticos. Estos modelos son dinámicos y a medida que se disponga de información nueva, este se debe reevaluar y ajustar. En la Figura 2.19 se puede observar un esquema adaptado de la teoría de círculos crecientes<sup>48</sup> para el análisis hidrogeológico, en donde se menciona la importancia de saber que un modelo es dinámico y que a medida que se aumente el conocimiento este puede ser refinado o incluso cambiado.

---

<sup>47</sup> (Clarke, 1983)

<sup>48</sup> (IDEAM, 2010)



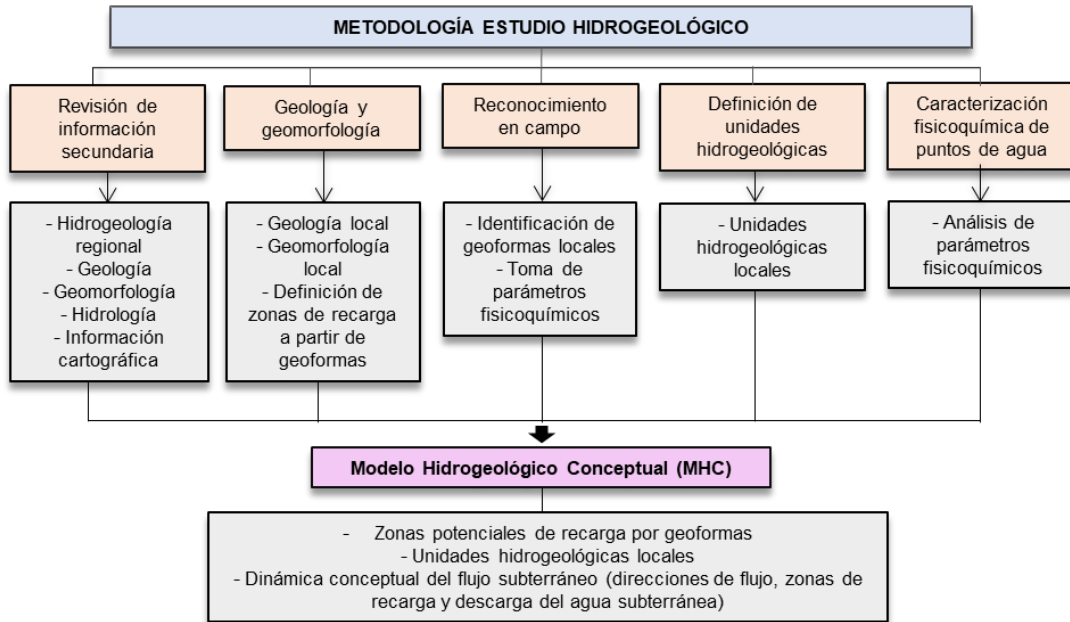
**Figura 2.19 Teoría de los ciclos crecientes en los sistemas de aguas subterráneas.**

Fuente: adaptado de IDEAM<sup>49</sup>.

Este modelo es un esquema lógico, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, que trata de predecir el comportamiento del flujo del agua, determinar recursos explotables y prever posibles impactos ambientales sobre el sistema de aguas subterráneas. Su objetivo es ser una herramienta de diseño que represente el estado hidrogeológico de un área definida de una manera simplificada y que describa la posible distribución del agua subterránea incluyendo las zonas de recarga, almacenamiento, tránsito y descarga; éste tiene un valor predictivo muy útil al momento de manejar el recurso de agua subterránea y a medida que se disponga de nueva información de las investigaciones hidrogeológicas el modelo se irá refinando.

En la Figura 2.36 se presenta de manera esquemática la metodología de trabajo que se desarrollará de acuerdo con los términos de referencia, iniciando con la recopilación y revisión de información secundaria, además del reconocimiento del área, geoformas y pendientes observadas en campo. A partir de esto, se definen las unidades hidrogeológicas locales para plantear el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC).

<sup>49</sup> Ibid.



**Figura 2.20 Metodología de trabajo para la caracterización hidrogeológica del área de estudio**

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

#### A. Identificación de zonas de recarga

La representación esquemática de las zonas de recarga y descarga del agua subterránea se puede entender a partir de la representación de los sistemas de flujo (Figura 2.21). En el esquema se identifican sistemas de flujos locales en los cuales el área de recarga y descarga están cerca, y el tiempo de residencia del agua desde que entra hasta que sale del subsuelo es corto. Los sistemas de flujos intermedios y regionales tienen áreas de recarga y descarga distantes por lo que el tiempo de recorrido del agua es mucho mayor<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> (Tóth, 2000)

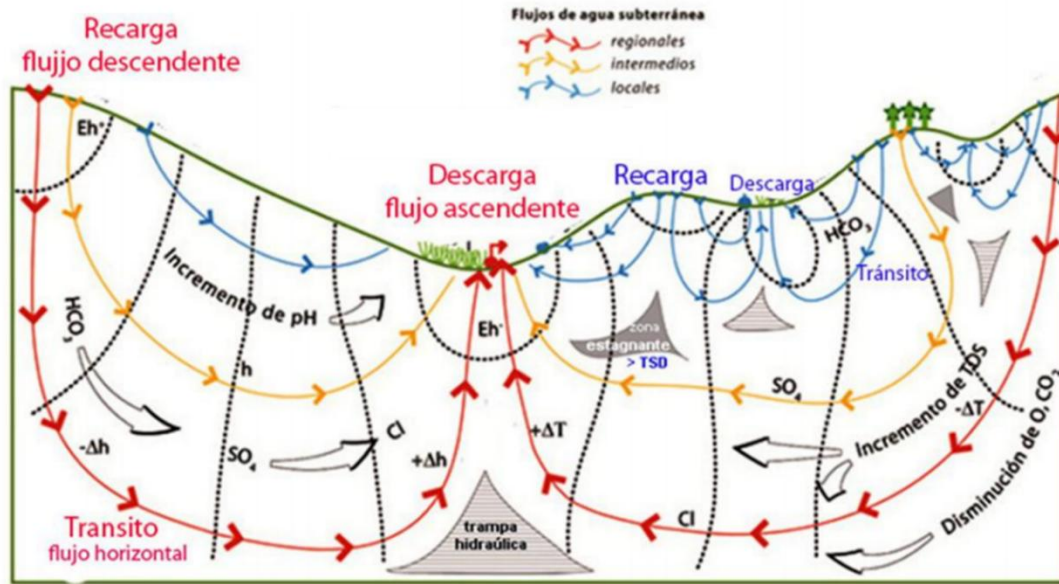


Figura 2.21 Esquema de distribución de zonas de recarga, descarga y sistemas de flujo  
Fuente: Modificada de Toth<sup>51</sup>

I. Identificación de zonas de recarga y descarga hídrica

Para calcular las zonas de recarga en el área de influencia, se implementó la metodología de análisis multi criterio según la Teoría de los Sistemas de Flujo planteada por Tóth<sup>52</sup>, que propone una integración de diferentes factores condicionantes: geología, geomorfología, pendiente, suelo y cobertura vegetal, realizando una superposición ponderada para determinar las zonas de potencial de agua subterránea por medio de operaciones por celdas utilizando álgebra de mapas con pesos ponderados, resultando en un mapa de recarga con cinco valoraciones: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja.

II. Dirección de flujo

Para determinar las direcciones de flujo regional se analizaron las trayectorias de los drenajes regionales en el software ArcGis, teniendo como base el Modelo de Elevación Digital de Alos Palsar con tamaño de celda 12,5 x 12,5 metros, esto para obtener una visión regional de la dirección de flujo.

III. Método GOD

Según el documento "Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación" del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial del año

<sup>51</sup> (Alconada Magliano, Damiano, & Fagundo Castillo, 2016)

<sup>52</sup> (Tóth, 2000)

2010<sup>53</sup>, este método fue propuesto por Foster<sup>54</sup> y es aplicable a zonas con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre de la información. Este método comprende tres parámetros. G, O D, cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación de los acuíferos:

**G (Groundwater occurrence):** Se refiere al grado de confinamiento hidráulico, el cual depende de la identificación del tipo de acuífero. El rango de valores va entre cero (0) cuando hay ausencia de acuífero y uno (1.0) cuando hay presencia de acuífero libre o no confinado.

**O (Overall aquifer class):** Corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero, haciendo referencia al grado de consolidación, características litológicas y texturales. Los índices más bajos (0.4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0.9-1.0) corresponden a rocas compactadas fracturadas o karstificadas.

**D (Depth):** Este parámetro está asociado a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo en los confinados. Los índices más bajos (0.6) están relacionados con acuíferos con profundidades mayores a 50 m, mientras que los índices altos (1.0) están asociados con acuíferos que, independientemente de la profundidad, se encuentran en medios fracturados.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el índice de vulnerabilidad se obtiene del producto de los valores correspondientes a cada parámetro, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$iV_{GOD} = G * O * D$$

Así, en la Tabla 2.50 se presentan los grados de vulnerabilidad en el área de influencia según la metodología GOD.

**Tabla 2.50 Grado de vulnerabilidad según el método GOD**

Grado	Vulnerabilidad
Muy alta	0.7 - 1.0
Alta	0.5 - 0.7
Moderada	0.3 - 0.5
Baja	0.1 - 0.3
Muy Baja	<0.1

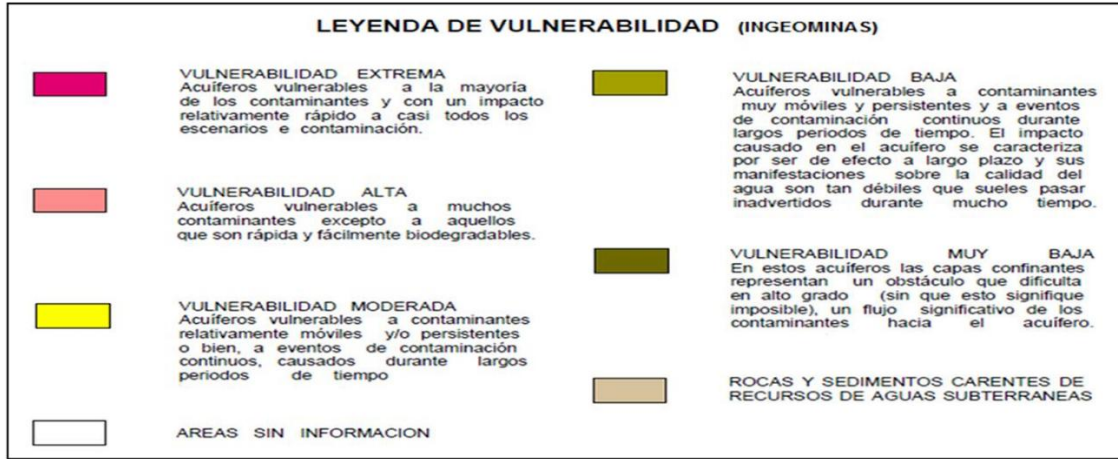
Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

La simbología se utiliza de acuerdo con la leyenda del SGC<sup>55</sup>, así:

<sup>53</sup> (Vargas Quintero, 2010)

<sup>54</sup> (Foster & Hirata, 1988)

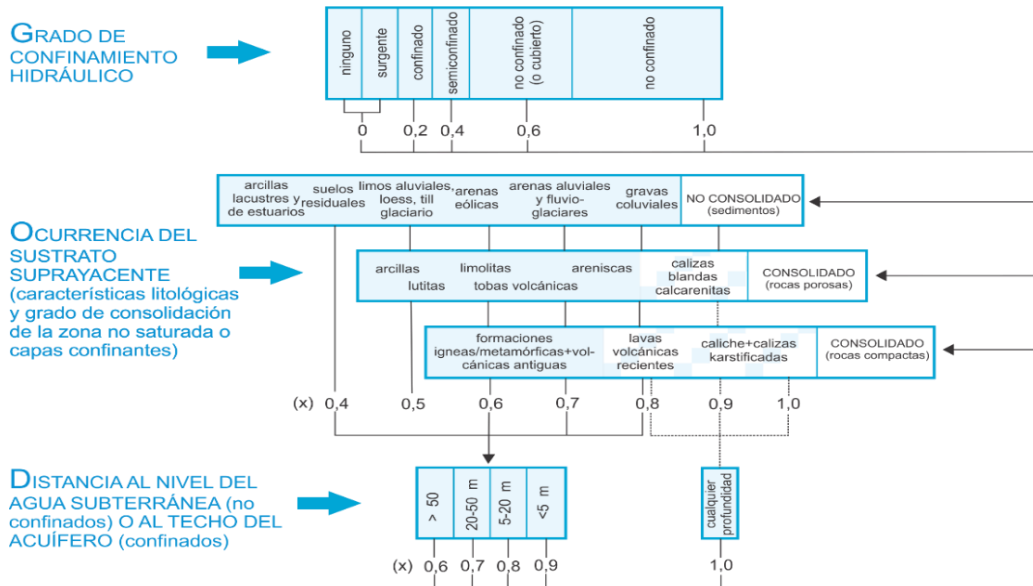
<sup>55</sup> (SGC, 2003)



**Figura 2.22 Leyenda de vulnerabilidad**  
Fuente: SGC (antes INGEOMINAS), 2003.

La vulnerabilidad de tipo extrema se reemplaza por el término “muy alta” en la Tabla 2.50 para que concuerde con lo estipulado por ANLA para el modelo de datos geográficos.

En la Figura 2.23 se presenta la guía para la asignación de los valores correspondiente a cada parámetro según el caso.



**Figura 2.23 Guía para aplicación del método GOD**  
Fuente: Vargas Quintero<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> (Vargas Quintero, 2010)

### 2.3.3.1.9 Geotecnia

La metodología para la zona de influencia debe estar orientada a la caracterización de procesos morfodinámicos y a las características geotécnicas del área de estudio con relación al proyecto a realizar. En este caso se busca caracterizar los factores de seguridad con un método determinístico de capacidad de carga utilizando parámetros de resistencia de las unidades geológicas superficiales en el área de estudio para posteriormente determinar el factor de seguridad de cada unidad de geología para ingeniería.

#### A. Parámetros de resistencia

El ensayo de resistencia a la penetración estándar puede utilizarse para estimar, a partir de correlaciones, propiedades de los materiales tales como el módulo de elasticidad, la cohesión efectiva y el ángulo de fricción interna efectivo. En este caso se utilizó la metodología de González, 1999<sup>57</sup> para la estimación del ángulo de fricción interna  $\phi$  y la cohesión  $c$ .

La metodología parte del ángulo de fricción interna equivalente  $\phi'$ eq, correspondiente a un valor determinado del NSPT, luego, a cada valor de  $\phi'$ eq, se le calcula el esfuerzo normal efectivo  $\sigma'$  en función de la profundidad a la cual se haya realizado el ensayo de resistencia a la penetración estándar (densidad x profundidad). Para dicho valor de esfuerzo normal  $\sigma'$ , se determina el esfuerzo de corte (T) como el producto del esfuerzo normal  $\sigma'$  por la tangente del ángulo de fricción interna equivalente  $\phi'$ eq. Finalmente, se hace una regresión de T contra  $\sigma'$  y se obtienen  $c$  y  $\phi$ .

#### B. Zonificación geotecnia

Para este caso se realizará utilizando el método del talud infinito modificado para que sea evaluada la capacidad de carga del trazado de la vía debido a que la zona de intervención del proyecto no presenta pendientes medias-altas en la cual se pueda generar procesos de inestabilidad de laderas de importancia, ni procesos morfodinámicos importante y las unidades geológicas superficiales son similares.

El método del talud infinito es un método determinístico que involucra las particularidades de parámetros de resistencia en un área específica, por lo que se puede realizar la zonificación de aptitud geotécnica de acuerdo con la capacidad de carga general de Terzaghi<sup>58</sup>

Para esto se debe evaluar el factor de seguridad según la ecuación general de carga de Terzaghi<sup>59</sup>.

$$FS_{(\text{capacidad de carga})} = \frac{q_u}{q_{\text{máx}}}$$

**Figura 2.24. Factor de seguridad según capacidad de carga**

Fuente: Das, 2015<sup>60</sup>.

<sup>57</sup> (Gonzalez, 1999)

<sup>58</sup> (Terzaghi, 1943)

<sup>59</sup> (Terzaghi, 1943)

<sup>60</sup> (Das, 2015)

La metodología utilizada se muestra en la Figura 2.25.

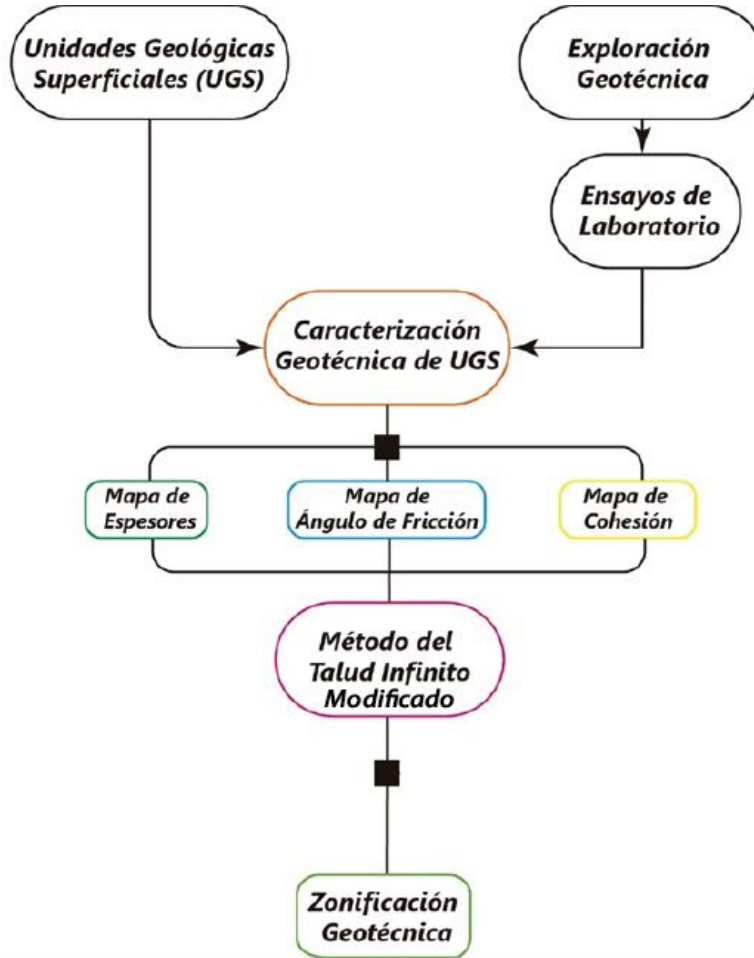


Figura 2.25 Método de evaluación en área con unidades de geología para ingeniería

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

El método del talud infinito permite determinar mediante álgebra de mapas (raster) los factores de seguridad en una zona utilizando la zonificación de unidades de geología para ingeniería con la variable morfométrica del terreno. Este método presenta varios tipos de aplicaciones en función de sus condiciones, seco, saturado y con sismo.

La fórmula para obtener el factor de seguridad utilizando el método del talud infinito se muestra a continuación:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (ybh \cos \alpha - kybh \sin \alpha - y_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{ybh \sin \alpha + kybh \cos \alpha}$$

Donde:

$c'$  y  $\Phi'$  son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en términos de esfuerzos efectivos.

y es el peso unitario del suelo.

b es el ancho de la tajada (ancho de la celda que está definido por el tamaño del pixel en el DEM).

h es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

$y_w$  es el peso unitario del agua.

$h_w$  es la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno.

$\alpha$  es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

k es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Sin embargo, para la realización de la zonificación por capacidad de carga se debe modificar el método del talud infinito a una ecuación que involucre la capacidad de carga de Terzaghi<sup>61</sup>.

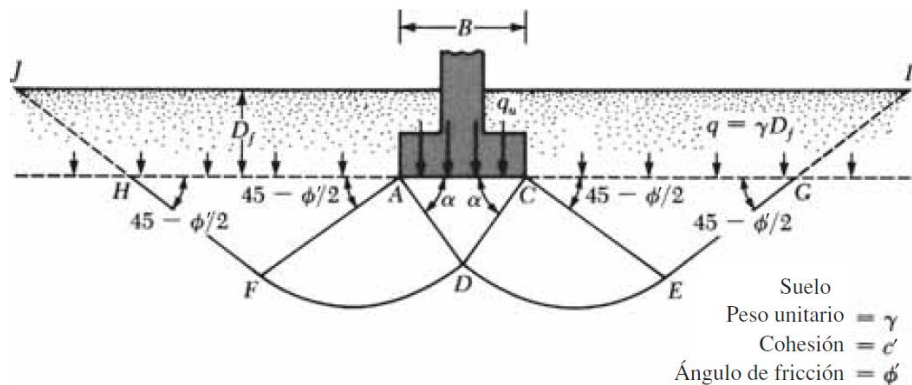


Figura 2.26 Mecanismo de Falla propuesto por Terzaghi<sup>62</sup>

Fuente: Das, 2015<sup>63</sup>.

Para utilizar la ecuación mostrada en la Figura 2.26 se utilizan los siguientes datos.

**C:** Cohesión términos de kN/m<sup>2</sup>.

**q:** esfuerzo efectivo a nivel del fondo de la cimentación, igual a la multiplicación del nivel de empotramiento y la densidad del estrato, en valores de kN/m<sup>2</sup>.

**y:** peso específico del suelo, en valores de kN/m<sup>3</sup>

**Nc, Nq, Ny:** factores de capacidad portante asociados al ángulo de fricción.

<sup>61</sup> (Terzaghi, 1943)

<sup>62</sup> (Terzaghi, 1943)

<sup>63</sup> (Das, 2015)

Y se involucran algunos factores de pendiente, forma, profundidad. La ecuación general de carga propuesta por Terzaghi<sup>64</sup> se muestra a continuación.

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

**Figura 2.27 Ecuación general de capacidad de carga**  
Fuente: Das, 2015<sup>65</sup>.

Los factores de forma, pendiente, profundidad son:

Fcs, Fqs, Fys = Factores de Forma

Fcd, Fqd, Fyd = Factores de profundidad

Fci, Fqi, Fyi = Factores de pendiente de la carga.

Para realizar la zonificación se debe realizar la clasificación de parámetros geotécnicos según la clasificación de unidades de geología para ingeniería, utilizando la ecuación general de capacidad de carga.

$$FS = \frac{c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}}{104.55 \text{ kN/m}^2}$$

Donde:

**C:** Cohesión términos de kN/m<sup>2</sup>.

**q:** esfuerzo efectivo a nivel del fondo de la cimentación, igual a la multiplicación del nivel de empotramiento y la densidad del estrato, en valores de kN/m<sup>2</sup>.

**y:** peso específico del suelo, en valores de kN/m<sup>3</sup>

**Nc, Nq, Ny:** factores de capacidad portante asociados al ángulo de fricción.

**Fcs, Fqs, Fys** = Factores de Forma

**Fcd, Fqd, Fyd** = Factores de profundidad

**Fci, Fqi, Fyi** = Factores de pendiente de la carga.

### C. Zonificación Geotécnica con Factores Geoambientales

Para dar cumplimiento a los términos de referencia y realizar una zonificación geotécnica que tenga en cuenta variables geoambientales que puedan tener influencia en la estabilidad geotécnica, se realiza una zonificación que tiene en cuenta las variables de Geología,

<sup>64</sup> (Terzaghi, 1943)

<sup>65</sup> (Das, 2015)

Geomorfología, Coberturas de la Tierra, Pendiente, Isoyetas y Amenaza Sísmica según la NSR10.

Para cada una de las variables y sus clases particulares de igual manera se les asigna los pesos asignados según sus características de estabilidad geotécnica, sin embargo algunas variables como isoyetas o amenaza sísmica presentan poca variación debido a que los muestreos o rangos no presentan variación dentro del área de influencia, por ejemplo la variable Isoyeta presenta una variación entre 5600 y 5400 mm/año, y por otro lado la variable de amenaza sísmica solo es alta en toda el área de influencia, con una aceleración pico efectiva de 0.30 y una horizontal de 0.25. Sin embargo se realiza el análisis para conocer su influencia en el análisis eurístico de zonificación geotécnica.

**Tabla 2.51 Pesos asignados a los factores condicionantes**

<b>Factor</b>	<b>Peso (W) [%]</b>
Geología	15,00
Geomorfología	15,00
Cobertura	15,00
Pendiente	35,00
Isoyetas	10,00
Amenaza Sísmica	10,00
Total	100,00

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

**Tabla 2.52 Valores asignados a las clases de cada factor**

<b>Categoría</b>	<b>Valor</b>
<b>Coberturas (Cobe)</b>	
Áreas deportivas	1
Tejido urbano continuo	1
Tejido urbano discontinuo	1
Zonas industriales o comerciales	1
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1
Pastos limpios	2
Pastos enmalezados	2
Bosque de galería y ripario	1
Cuerpos de agua artificiales	1
Parques cementerio	1
Plantación forestal	1
<b>Geomorfología (Geom)</b>	
Terraza de acumulación	1
Escarpe de terraza	2
Planicie o llanura de inundación	1
Laguna	1
Meandro abandonado	1



AUTOPISTAS URABÁ S.A.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

Categoría	Valor
Planos y campos de llenos antrópicos	1
Jagüey	1
<b>Geología (Geol)</b>	
Depósitos aluviales recientes	1
Depósitos de terraza	1
<b>Pendiente (Pend)</b>	
0-1%	1
1-3%	1
3-7%	1
7-12%	1
12-25%	2
25-50%	2
50-75%	3
75-100%	3
>100%	3
<b>Isoyeta (Isoy)</b>	
5200 mm/año	2
5400 mm/año	2
5600 mm/año	2
<b>Amenaza Sísmica (Sism)</b>	
Alta (Aa 0.25)	3

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

De esta manera, se halla un valor de estabilidad geotécnica mediante los valores y sus pesos ponderados, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Estabilidad Geotécnica} \\
 & = \textit{Geol} * 0.15 + \textit{Geom} * 0.15 + \textit{Pend} * 0.35 + \textit{Cobe} * 0.15 + \textit{Isoy} * 0.10 + \textit{Sism} \\
 & * 0.10
 \end{aligned}$$

#### 2.3.3.1.10 Atmósfera

##### A. Información meteorológica

El análisis meteorológico se realizó con base en las variables meteorológicas que están dentro del alcance del Estudio de Impacto Ambiental, estas variables comprenden entre otros: Temperatura, presión, humedad relativa, nubosidad, radiación solar, brillo solar, velocidad y dirección del viento, evapotranspiración y precipitación. Para lo cual se establecen los siguientes pasos:

- Se analiza la disponibilidad de datos del IDEAM para la zona de estudio de las variables meteorológicas, con series completas horarias de las mismas en un periodo de mínimo 5 años.

- En caso de no disponer la información requerida en las estaciones del IDEAM, se procederá a su adquisición a partir de un proveedor de datos meteorológicos como puede ser METEOBLUE, METEOSIM, entre otros, para una ubicación al interior o central del proyecto.
- Teniendo las series de datos completas se realiza el análisis meteorológico generalmente para un periodo de 10 años, donde se analiza cada variable, su comportamiento espacial y temporal durante el periodo de análisis, estudiando diferentes rangos de tiempo, por ejemplo, para el caso de la presión y la radiación solar se analiza su comportamiento mensual, para las rosas de vientos se analiza su comportamiento diurno, nocturno y mensual.
- Cabe aclarar que debido a la ausencia de modelos que permitan realizar la predicción espacial de la precipitación, se consultan datos anuales en el portal del IDEAM para estaciones con información de precipitación en la zona aledaña al proyecto (pluviométricas, pluviográficas o de climática ordinaria) para un periodo de mínimo 5 años, paso seguido se realiza un promedio de los niveles de precipitación por estación y por último con estos valores y la respectiva georreferenciación de las estaciones se procede a aplicar un algoritmo de interpolación espacial el cual generalmente es el de Krigging. Mientras para los mapas espaciales de temperatura y presión se hace uso de modelos que relacionan la altura con dichas variables, para lo cual se emplea un DEM del terreno para estimar las alturas del terreno dentro de una grilla regularmente espaciada (el DEM generalmente se obtiene del conjunto de **ALOS PALSAR** con una resolución espacial de 12.5 m, el cual se puede consultar en la dirección <https://search.asf.alaska.edu/#/>).
- Para realizar los análisis de los datos se emplean algoritmos que permiten agrupar los datos horarios en mensuales, anuales, horarios y realizar las respectivas gráficas y estadísticos requeridos.

## B. Calidad de aire

El inventario de fuentes está relacionado o es función de las actividades propias de cada proyecto, durante las etapas de construcción y operación, para su elaboración generalmente se siguen los siguientes pasos:

- Se identifican las actividades asociadas al proyecto como puede ser: excavaciones, transferencias, escarpes, acopios, trituración, movimiento de material, etc.
- Se determinan los niveles de emisión para cada una de las fuentes identificadas, para lo cual se puede hacer uso de factores de emisión, catálogos de equipos, balances de masa y mediciones directas.
- Una vez se han cuantificado las fuentes, estas se ubican espacialmente y se clasifican en fuentes de área, lineales o puntuales, acorde al sistema Modelo de Almacenamiento Geográfico - MAG.

### *I. Selección y ubicación de sitios de medición*

La toma de muestras correspondientes a los contaminantes PM10, PM2.5, SO2, NO2 y CO se realiza en los sitios definidos en conjunto por la empresa Autopistas Urabá S.A.S y el Laboratorio

Diagnóstico Ambiental S.A.S, y en la Tabla 2.53, se tabula la ubicación y georreferenciación de los puntos de medición seleccionados.

**Tabla 2.53 Identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo calidad del aire**

Punto	Coordenada CTM12	
	X	Y
CA 1	4620249.315	2359620.871
CA 2	4620511.725	2360200.190

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

La localización de los puntos se realizó a partir de criterios técnicos de representatividad y cobertura espacial, priorizando tanto la presencia de población expuesta como la cercanía a las áreas de intervención del proyecto.

En el caso de los monitoreos de calidad del aire y ruido, la selección se efectuó considerando un radio de acción máximo de 500 metros, de manera que se garantizara la cobertura de los principales focos de emisión y ruido asociadas al proyecto y de las zonas habitadas del casco urbano. Con este criterio se buscó abarcar la mayor cantidad posible de población susceptible, como instituciones educativas, hospital, hogares geriátricos y áreas residenciales, en coherencia con la normatividad que establece límites diferenciales para este tipo de zonas (Resolución 627 de 2006). Así como zonas de permanencia prolongada de personas. Asimismo, se tuvo en cuenta la dirección predominante de los vientos (sur–norte), lo que permite evaluar con mayor precisión la dispersión de contaminantes hacia las zonas pobladas.

En este sentido, el Punto 1 se localizó en el sector sur del municipio, cercano a escuelas y colegios, con el fin de evaluar la posible afectación a una población altamente sensible (niños y jóvenes). El Punto 2, por su parte, integra la dinámica de la zona céntrica al abarcar viviendas cercanas al parque principal, el hospital municipal y la residencia de ancianos, permitiendo evaluar el ruido sobre los grupos poblacionales con mayor vulnerabilidad.

Es importante señalar que, si bien se analizaron sitios adicionales, algunos no pudieron ser utilizados debido a la imposibilidad de acceder a los predios o a la ausencia de condiciones de seguridad para la instalación de los equipos, lo cual fue registrado en los informes de campo. No obstante, los puntos seleccionados cumplen con los criterios de cobertura espacial, representatividad de la población y exposición potencial a los impactos, por lo que garantizan la validez técnica del monitoreo.

Finalmente, en la figura correspondiente se presentan las ubicaciones seleccionadas, evidenciando cómo estas abarcan tanto el área de obras como los principales sectores de la cabecera municipal, lo que permite un análisis integral y representativo de la calidad del aire y el ruido en el marco del proyecto.

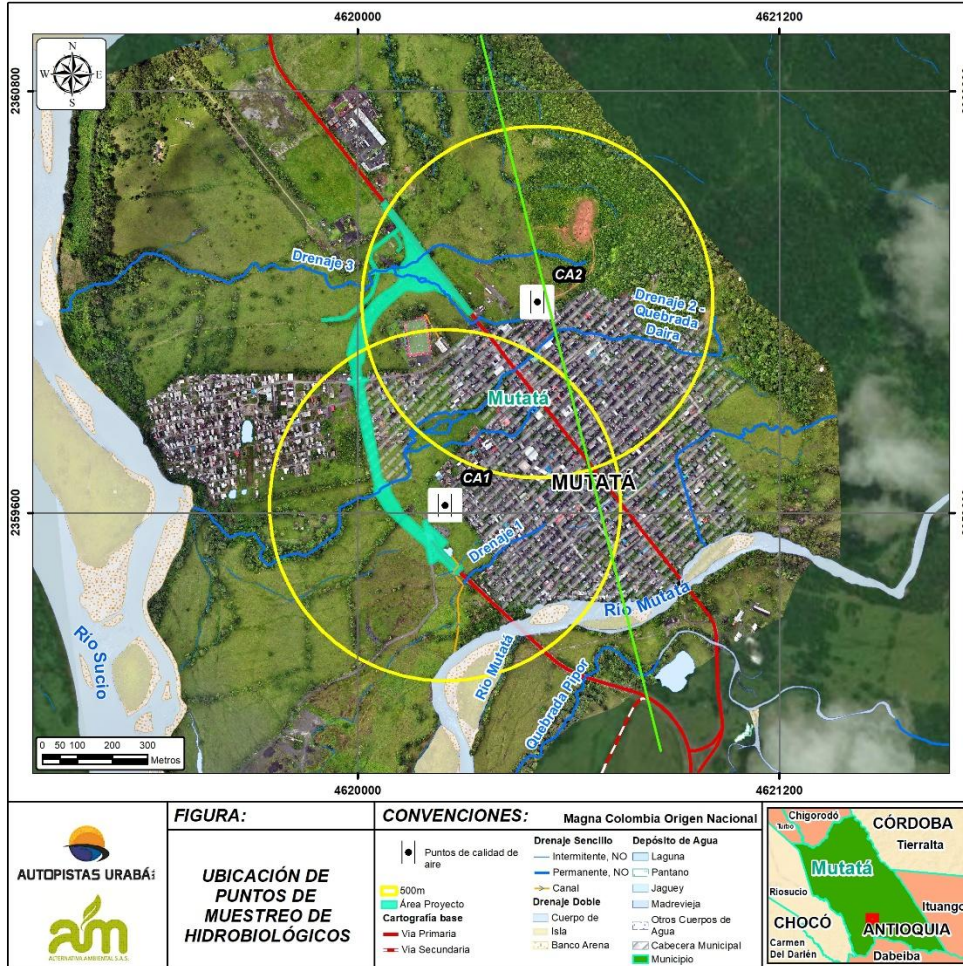


Figura 2.28 Análisis espacial puntos de monitoreo

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

## II. Metodología empleada para mediciones y análisis

Los métodos de medición y análisis empleados fueron los recomendados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire Resolución 2154 de 2010, adoptado por la Resolución 650 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los cuales se tabulan en la Tabla 2.54:

Tabla 2.54 Parámetros medidos y métodos de medición empleados

Contaminante evaluado	Método de medición
PM <sub>10</sub>	US-EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice J. Alto volumen
PM <sub>10</sub>	US-EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice J. Bajo volumen

Contaminante evaluado	Método de medición
PM <sub>2.5</sub>	US-EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L. Bajo volumen. Método de referencia manual.
SO <sub>2</sub>	U.S.A EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice A1. (Fluorescencia Ultravioleta)
NO <sub>2</sub>	US EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice F. Quimioluminiscencia Fase Gaseosa

Fuente: Laboratorio Diagnostico Ambiental S.A.S., 2025.

### III. Procedimiento de medición

Las evaluaciones de calidad del aire se basan en la metodología del Protocolo del Monitoreo y Seguimiento de Calidad de Aire Resolución 2154 de 2010 (1); el cual fue adoptado por medio de la Resolución 650 de 2010 (2); y los parámetros de comparación se establecerán de acuerdo con lo relacionado en los estándares de Calidad de Aire establecidos en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

Para actividades industriales se acoge la referencia de los SVCAI, que establece:

*Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire Industrial: Aplicado a actividades a las que la autoridad ambiental establezca la obligación de implementar un SVCA. Podrá contar con estaciones indicativas o fijas.*

Para la realización de las mediciones se aplicaron los métodos US EPA, y los métodos de referencia o equivalentes aplicados se consultaron en el documento "Reference and Equivalent Methods, December 15, 2023":

- **Toma de muestras para la determinación de material particulado como PM<sub>10</sub>:** US-EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice J: Alto volumen. Método de referencia manual: RFPS-0202-141.
- **Toma de muestras para la determinación de material particulado como PM<sub>10</sub>:** US-EPA CFR Titulo 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice J: Bajo volumen. Método de referencia manual: RFPS-0714-216.
- **Toma de muestras para la determinación de material particulado como PM<sub>2.5</sub>:** US-EPA CFR título 40, Capítulo I, Subcapítulo C Parte 50 Apéndice L: Bajo volumen. Método de referencia manual: RFPS-1014-219.
- **Determinación directa en campo en la atmósfera de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** US-EPA CFR título 40, Capítulo I, Subcapítulo C Parte 50 Apéndice A-1. Método Equivalente Automatizado: EQSA-0495-100.
- **Determinación directa en campo en la atmósfera de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>):** US-EPA CFR título 40, Capítulo I, Subcapítulo C Parte 50 Apéndice F: Quimioluminiscencia Fase Gaseosa. Método equivalente Automático: RFNA-0809-186.

### IV. Tiempo de monitoreo

La determinación del tiempo de monitoreo, número de puntos y contaminantes a evaluar, se realizó de acuerdo con los lineamientos del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire Resolución 2154 de 2010; el cual fue adoptado por medio de la Resolución 0650 de 2010

del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, numeral 5,7 del Manual de Diseño, el cual indica que para el diseño de un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire Industrial SVCAI, se deben considerar aspectos tales como:

- Condiciones meteorológicas de la zona de estudio, tal como direcciones predominantes y velocidades promedio de los vientos.
- Estudio de los procesos de la empresa, entorno de esta, y cartografía de la zona.
- Inventario de emisiones, relativo a las fuentes pertenecientes al proceso como tal y a otras fuentes del entorno de la obra.
- Necesidad de la Compañía y revisión de mediciones históricas.

De acuerdo con el Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, se establece un tiempo de monitoreo de 18 días, teniendo presente que, si al analizar los resultados de las primeras 15 muestras se obtiene un promedio igual o mayor al 80% del valor de la norma anual de calidad del aire o nivel de inmisión, se deberá prolongar el monitoreo hasta completar 24 muestras.

#### V. Descripción de métodos de medición

A continuación, en la Tabla 2.55 se realiza una descripción del principio de medición utilizado para la toma de muestra de los diferentes contaminantes muestreados.

**Tabla 2.55 Descripción de los equipos de medición empleados**

Contaminante	Método	Descripción
Material particulado menor a 10 micrómetros	EPA e- CFR 40, Capitulo 1, Subcapítulo C, Parte 5 0, Apéndice J-Alto volumen.	Un muestreador de aire extrae aire ambiental a una velocidad de flujo constante en una entrada de forma especial donde el material particulado suspendido se separa por inercia en una o más fracciones de tamaño dentro del rango de tamaño de PM10. Luego, cada fracción de tamaño en el rango de tamaño de PM10 se recolecta en un filtro separado durante el período de muestreo especificado. Las características de discriminación del tamaño de partículas (efectividad de muestreo y punto de corte del 50 por ciento) de la entrada del muestreador se prescriben como especificaciones de rendimiento en la parte 53 del Capítulo 1. El caudal del muestreador debe estar entre 1.02 m <sup>3</sup> /min y 1.24 m <sup>3</sup> /min y la geometría del muestreador favorecen la recolección de partículas inferiores a 10mm (diámetro aerodinámico). Cada filtro es pesado (después de estabilizar la humedad y la temperatura) antes y después de la recolección de la muestra para determinar el peso neto ganado debido al PM10 colectado. El volumen total de aire muestreado es determinado por la medida del flujo a temperatura y presión ambiente y el tiempo total de muestreo. La concentración másica de PM10 en el aire ambiente es calculada como la masa total de partículas en el rango de PM10 dividido en el volumen total de aire muestreado y es expresado en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
Material particulado	EPA e- CFR 40, Capitulo 1,	Un motor eléctrico succiona aire ambiente a una tasa de volumen constante de 16.67 l/min hacia la entrada del equipo


<b>Contaminante</b>	<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
menor a 10 micrómetros	Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice J-Bajo volumen.	(cabezal) y a través de un separador de partículas inerciales (impactador), donde el material particulado suspendido en el rango de PM10 es separado para su recolección en un filtro de politetrafluoroetileno (PTFE) o cuarzo durante el tiempo de muestreo. Cada filtro es pesado (después de estabilizar la humedad y la temperatura) antes y después de la recolección de la muestra para determinar el peso neto ganado debido al PM10 colectado. El volumen total de aire muestreado es determinado por la medida del flujo a temperatura y presión ambiente y el tiempo total de muestreo. La concentración másica de PM10 en el aire ambiente es calculada como la masa total de partículas en el rango de PM10 dividido en el volumen total de aire muestreado y es expresado en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
Material particulado menor a 2.5 micrómetros	EPA e- CFR 40, Capitulo 1, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L	Un motor eléctrico succiona aire ambiente a una tasa de volumen constante de 16.67 l/min hacia la entrada del equipo (cabezal) y a través de un separador de partículas inerciales (impactador), donde el material particulado suspendido en el rango de PM2.5 es separado para su recolección en un filtro de politetrafluoroetileno (PTFE) durante el tiempo de muestreo. Cada filtro es pesado (después de estabilizar la humedad y la temperatura) antes y después de la recolección de la muestra para determinar el peso neto ganado debido al PM2.5 colectado. El volumen total de aire muestreado es determinado por la medida del flujo a temperatura y presión ambiente y el tiempo total de muestreo. La concentración másica de PM2.5 en el aire ambiente es calculada como la masa total de partículas en el rango de PM2.5 dividido en el volumen total de aire muestreado y es expresado en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	EPA e- CFR 40, Capitulo 1, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice A1	Este método de referencia se basa en la medición automatizada de la intensidad de la fluorescencia característica liberada por el SO <sub>2</sub> en una muestra de aire ambiental contenida en una celda de medición de un analizador cuando la muestra de aire es irradiada por luz ultravioleta (UV) que pasa a través de la celda. La luz fluorescente liberada por el SO <sub>2</sub> también se encuentra en la región ultravioleta, pero en longitudes de onda más largas que la luz de excitación. Normalmente, la medición instrumental óptima de las concentraciones de SO <sub>2</sub> se obtiene con una longitud de onda de excitación en una banda entre aproximadamente 190 y 230 nm, y la medición de la fluorescencia de SO <sub>2</sub> en una banda ancha alrededor de 320 nm, pero estas longitudes de onda no son necesariamente limitaciones de este método de referencia.
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	EPA e- CFR 40, Capitulo 1, Subcapítulo C,	Las concentraciones atmosféricas de dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) se miden indirectamente midiendo fotométricamente la intensidad de la luz, a longitudes de onda superiores a 600

Contaminante	Método	Descripción
	Parte 50, Apéndice F	nanómetros, resultante de la reacción quimioluminiscente del óxido nítrico (NO) con el ozono (O3). El NO2 se reduce primero cuantitativamente a NO mediante un convertidor. El NO, que comúnmente existe en el aire ambiente junto con el NO2, pasa a través del convertidor sin cambios, lo que provoca una concentración total de NOX resultante igual a NO + NO2. También se mide una muestra del aire de entrada sin haber pasado por el convertido. Esta última medición de NO se resta de la medición anterior (NO + NO2) para producir la medición final de NO2. Las mediciones de NO y NO + NO2 se pueden realizar simultáneamente con sistemas duales o cíclicamente con el mismo sistema siempre que el tiempo del ciclo no exceda 1 minuto.


VI. Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025. Descripción de equipos de muestreo

A continuación, en la Tabla 2.56 se realiza una descripción de los equipos empleados para toma de muestra de los diferentes contaminantes monitoreados en el estudio.

**Tabla 2.56. Descripción de los equipos de medición empleados**

Contaminante	Imagen	Descripción
Material particulado menor a 10 micrómetros		Muestreador ambiental para material particulado para medición de, PM10 y PM2.5 con aprobación US EPA para PM2.5 y PM10. Muestreador de flujo bajo con 16.7 L/min ajustable en rango 1-25 L/min de bajo costos de operación y consumibles. Ideal para mediciones de calidad de aire, medición de áreas de contaminación, mediciones perimetrales, proyectos de remediación, posee características como las siguientes: Pantalla táctil de 5.7" para un manejo intuitivo, soporte de varios idiomas incluyendo español, posibilidad de descarga de datos mediante puerto USB o MODBUS o puerto Ethernet, guía integrada paso a paso para calibración del equipo y batería de respaldo para operación autónoma, etc.

Contaminante	Imagen	Descripción
Material particulado menor a 10 y 2.5 micrómetros		<p>Muestreador ambiental para material particulado para medición de, PM10 y PM2.5 con aprobación US EPA para PM2.5 y PM10. Muestreador de flujo bajo con 16.7 L/min ajustable en rango 1-25 L/min de bajo costos de operación y consumibles. Ideal para mediciones de calidad de aire, medición de áreas de contaminación, mediciones perimetrales, proyectos de remediación, posee características como las siguientes: Pantalla táctil de 5.7" para un manejo intuitivo, soporte de varios idiomas incluyendo español, posibilidad de descarga de datos mediante puerto USB o MODBUS o puerto Ethernet, guía integrada paso a paso para calibración del equipo y batería de respaldo para operación autónoma, etc.</p>
Dióxido de azufre (SO2)		<p>Los analizadores Teledyne de la serie 100 utilizan el principio de fluorescencia UV probado, junto con la tecnología de microprocesador de última generación para proporcionar mediciones precisas y confiables de niveles bajos de SO2. Se logra una estabilidad excepcional con el uso de un obturador óptico para compensar la deriva de PMT y un detector de referencia para corregir los cambios en la intensidad de la lámpara UV. Un "pateador" de hidrocarburos y un diseño óptico avanzado se combinan para evitar imprecisiones debidas a interferencias. El software multitarea proporciona una indicación en tiempo real de una gran cantidad de parámetros operativos y proporciona alarmas automáticas si se superan los límites de diagnóstico.</p> <p>Los analizadores Teledyne de la serie 100 combinan un peso más ligero, una construcción resistente, facilidad de uso, diagnósticos potentes, un diseño modular y un rendimiento excepcional para producir la herramienta ideal para los requisitos actuales de control del aire</p>

Contaminante	Imagen	Descripción
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )		<p>El analizador de NO<sub>2</sub> de la marca Ecotech combina las características ópticas, mecánicas y químicas, el resultado es un analizador basado en quimioluminiscencia potente y fácil de usar capaz de medir los óxidos de nitrógeno desde subpartes por billón (ppb) hasta 100 partes por millón (ppm).</p> <p>Las capacidades de software programables por el usuario permiten que los ajustes de rango de medición individuales se almacenen en la memoria para su posterior recuperación y NO, NO<sub>2</sub>, NOX, almacenamiento promedio por hora hasta por un mes.</p> <p>Los diagnósticos de resolución de problemas extendidos ahora brindan una indicación instantánea del estado de los parámetros operativos del instrumento, que incluyen: flujo de presión, voltajes de suministro de CC, temperatura interna, temperatura de la cámara de reacción, voltaje de funcionamiento PMT y temperatura del convertidor.</p>

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### C. Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos

#### 1. Alcance del modelo AERMOD

AERMOD es un modelo de dispersión de Gauss en estado estacionario; permite encontrar las concentraciones de contaminantes atmosféricos máximas horarias, máximas diarias y promedio anual a nivel del suelo, considera las condiciones simples y complejas del terreno y permite evaluar la influencia de la variación de las condiciones meteorológicas. Este modelo propuesto por la US EPA (Environmental Protection Agency), denominado AERMOD fue implementado mediante el programa informático AERMOD View de la empresa Lakes Environmental (Versión 12.0.0), el cual utiliza una metodología que permite determinar el impacto de la fuente bajo un conjunto de condiciones meteorológicas y topográficas, y establecer los posibles escenarios de contaminación (bajo condiciones operativas reales), de tal manera que no se puedan tener concentraciones superiores a las que se obtendrán con el modelo. Las principales características del modelo que fueron tenidas en cuenta para su aplicación fueron las siguientes<sup>66</sup>:

- Se puede utilizar para evaluar aspectos de carácter regulatorio
- Está diseñado para trabajar a pequeña escala desde 1m hasta 50 km

<sup>66</sup> (United States Environmental Protection Agency. , 2017)

- Es un modelo de dispersión de calidad del aire preferido y recomendado por la EPA
- Se ha trabajado en combinación con modelos de regresión de uso del suelo LUR
- Se ha empleado para evaluar el efecto de fuentes puntuales sobre sus alrededores
- Es un modelo de fácil implementación
- Bajos costos de recursos computacionales del modelo
- Resolución espacial de 1m
- Es un modelo basado en plumas gaussianas
- Permite trabajar con terrenos complejos

*II. Descripción de la formulación matemática del modelo AERMOD.*

La modelación matemática involucrada en la implementación del modelo AERMOD es extensa, y para obtener una idea de ésta, se puede consultar el documento del Anexo 6. "Descripción de la Formulación del Modelo AERMOD", desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), con el propósito de proporcionar una descripción completa y detallada de la formulación técnica de AERMOD y sus preprocesadores. El cual es un documento que pretende proporcionar muchos de los detalles que no están incluidos en los artículos de revistas publicadas<sup>67</sup>.

*III. Características principales del software AERMOD View de Lakes Environmental*

A continuación, se enumeran las principales características que posee la aplicación AERMOD View de la empresa Lakes Environmental (versión 12.0.0), el cual se utiliza para estimar las concentraciones de contaminantes en diferentes puntos identificados como receptores, dichas características se muestran en la Figura 2.29.

---

<sup>67</sup> (Cimorelli & Perry, 2004)

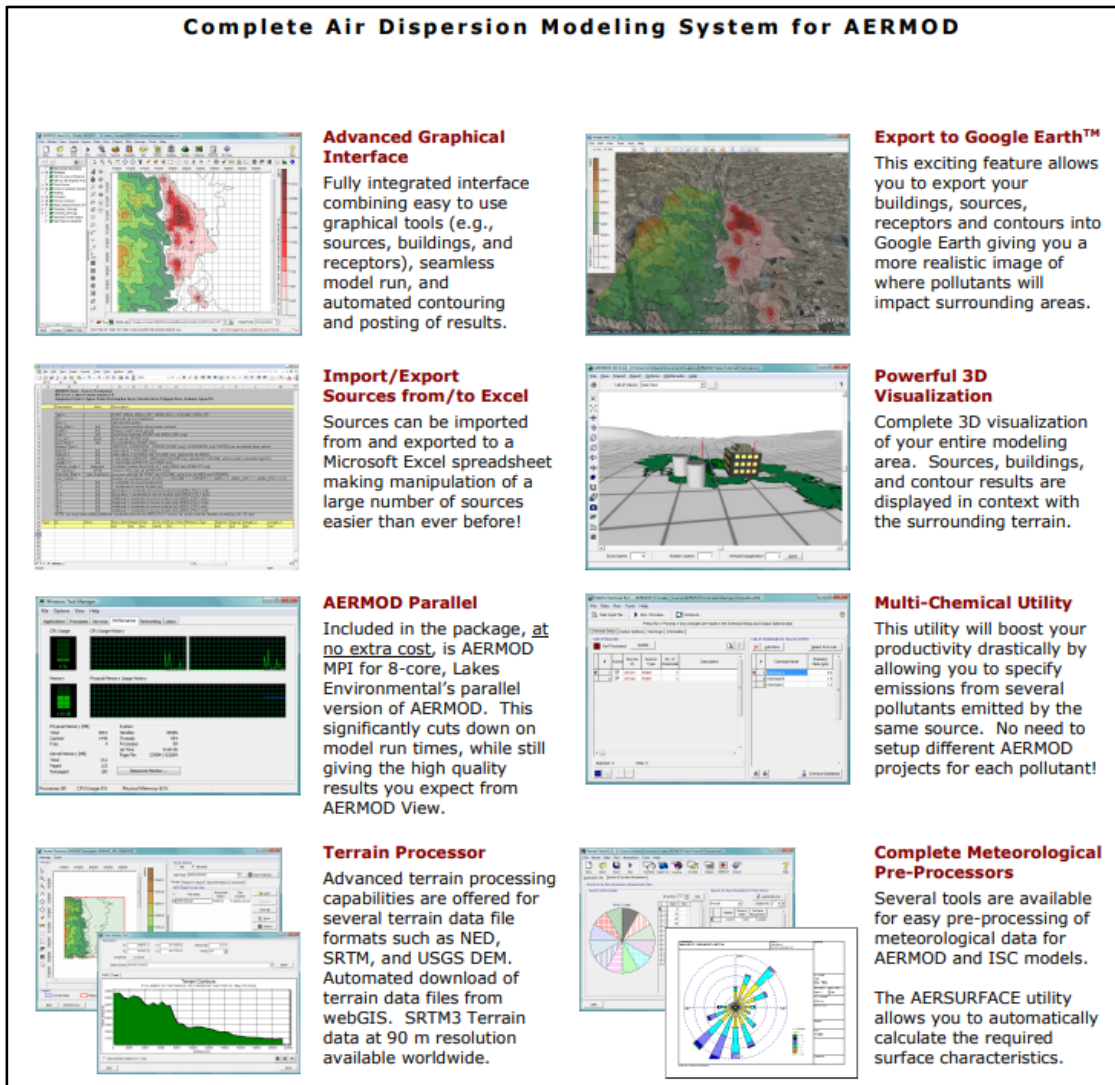


Figura 2.29 Principales características del software AERMOD View

Fuente: Lakes Environmental.

#### D. Ruido

La metodología establece los procedimientos necesarios para llevar a cabo el monitoreo de ruido ambiental, de una manera estandarizada y confiable siguiendo el procedimiento P-DNA-05 Ruido Ambiental de Diagnostico Ambiental S.A.S y el formato F-DNA-04 Medición de Ruido Ambiental, determinando tipo de equipo empleado, verificación o ajuste de la calibración de este, unidades y alturas definidas de medición y verificación de las condiciones meteorológicas. De acuerdo con esto se determinó la pertinencia de los equipos a utilizar, la técnica para la medición y la ubicación de los puntos a monitorear. Así mismo, se identificaron posibles fuentes generadoras y receptores de ruido, nivel de restricción según el sector y/o actividad realizada. Los resultados obtenidos en

las mediciones de ruido ambiental son interpretados para cada punto en la forma estipulada en la Resolución N° 627 de 2006 del MAVDT, hoy MADS.

*I. Selección y ubicación de sitios de medición*

La ubicación de los puntos de medición se estableció para los sitios definidos en conjunto por la empresa AUTOPISTAS URABA S.A.S y el Laboratorio Diagnóstico Ambiental S.A.S. En la Tabla 2.57, se tabula la ubicación y georreferenciación de los puntos de medición seleccionados.

**Tabla 2.57 Identificación y georreferenciación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental**

Punto	COORD. CTM12	
	X	Y
RA 1	4620395.789	2359357.504
RA 2	4620068.432	2360506.881
RA 3	4619938,388	2359991,763
CM3	4620022.099	2359971.302
CM4	4619981.349	2360613.713
CM5	4620201.121	2359547.765

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

*II. Tiempo de monitoreo*

El número de horas de medición para cada periodo fue de 1 hora para la jornada diurna y de 1 hora para la jornada nocturna, determinada según el alcance de la medición, cumpliendo con lo establecido en el anexo 3, capítulo III "Procedimiento para determinación del número de puntos y de los tiempos de medición para ruido ambiental" de la resolución 0627 de 2006.

Cada medición se distribuye en periodos de doce (12) minutos, hasta completar una hora de medición continua, para lo cual cada medición consta de cinco (5) mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales se realizó en posiciones del micrófono, así: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical (hacia arriba).

*III. Descripción de métodos de medición*

En la Tabla 2.58, se presentan los métodos de medición empleados para los puntos de ruido.

**Tabla 2.58 Métodos de medición.**

Método	Descripción
Ruido Ambiental. Capítulo II, Anexo 3 de la Resolución 0627 de 2006	El procedimiento de medición fue realizado en base a lo reglamentado por la Resolución 0627 de 2006, que establece la norma Nacional de Ruido, donde se destacan las siguientes etapas: Se realizó verificación acústica a una frecuencia de 1 kHz y a un nivel de presión sonora de 114.0 dB antes y después de las mediciones. Se ubico el equipo de medición sobre un trípode a cuatro (4) metros de altura con respecto al piso. Se empleó un dispositivo protector contra el viento para minimizar el efecto del viento en las mediciones. Se registraron los niveles de presión sonora equivalente (Leq) en cada uno de los puntos. Se realizaron medidas con análisis de frecuencia en tercios de octava.

Método	Descripción
	<p>Las mediciones se realizaron para el horario diurno entre las 7:01 y las 21:00 horas y para el periodo nocturno entre las 21:01 y las 7:00 horas, según lo dispuesto en el Artículo 2 del capítulo 1 de la norma nacional de ruido ambiental.</p> <p>Los niveles de presión sonora se determinaron con el sonómetro programado con el filtro de ponderación espectral A y respuesta temporal lenta (slow) e impulsiva (impulsive).</p> <p>Las mediciones se hicieron en dirección de las cuatro (4) coordenadas geográficas (Norte, Este, Sur y Oeste) y en posición vertical, distribuida uniformemente en una hora.</p> <p>Cada punto constó de una jornada de cuatro (4) mediciones distribuidas entre los periodos diurno-semana, nocturno-semana, diurno-fin de semana y nocturno-fin de semana.</p>

Fuente: Resolución 0627 de 2006.

#### IV. Descripción de equipos de muestreo

A continuación, en la Tabla 2.59 y Tabla 2.60 se realiza una descripción de los equipos empleados para los monitoreados requeridos por el estudio.


**Tabla 2.59. Relación de los equipos de medición empleados.**

Instrumento	Tipo	Marca	N° Serie
Sonómetro	SV979	SVANTEK	59702
Calibrador - Pistófono	Clase 1- CAL200	LARSON DAVIS	17652
Estación Meteorológica	Vantage VUE 6250	DAVIS	MT220623015

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2024.

**Tabla 2.60 Descripción de los equipos de medición empleados.**

Equipo	Imagen	Descripción
Sonómetro Svantek		El SVAN 979 es un dispositivo que combina todas las funciones de medición necesarias en una herramienta portátil. El instrumento está dedicado a aplicaciones de ingeniería acústica, como mediciones de aislamiento acústico, frecuencias precisas o análisis de tonalidad de señales. De serie, esta sofisticada herramienta está equipada con análisis de frecuencia en bandas de 1/1 y 1/3 de octava, análisis FFT y grabación de audio para el reconocimiento de fuentes de ruido.
Estación meteorológica Vantage VUE		La estación meteorológica Davis Vantage VUE, ofrece observación meteorológica exacta y confiable en un sistema integral fácil de instalar. Ésta contiene un compacto conjunto de sensores para lecturas al aire libre que se configura en minutos y comienza a enviar datos en forma inalámbrica a la consola situada en cualquier lugar. El módulo de sensores está totalmente integrado, es resistente a la corrosión y está fabricado para resistir toda la inclemencia del clima. A través de esta estación, se podrán obtener datos actuales como la temperatura y humedad al aire libre y bajo techo, la presión barométrica, precipitación y la velocidad y

Equipo	Imagen	Descripción
Calibrador Clase 1- CAL200		dirección del viento. También se presentan íconos de pronóstico meteorológico, alarmas y mucho más El Calibrador de sonido clase 1, se utiliza para calibrar micrófonos de medición de clase 1, sonómetros y otros equipos de medición de nivel sonoro. Como calibrador de micrófono preciso, genera una señal de referencia seleccionable de 94 o 114 dB a una frecuencia de 1 kHz. Señal de referencia de 94 o 114 dB a una frecuencia de 1 kHz

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### E. Modelos matemáticos para estimación de ruido ambiental

A continuación, se exponen las diferentes formulaciones empleadas para la estimación de los niveles de ruido ambiental en las diferentes ubicaciones, entre las que se incluye la estimación del nivel equivalente promedio  $L_{Aeq,T}$ , resultante del periodo de medición (Norte, Este, Oeste, Sur y Arriba), las correcciones y la estimación de la incertidumbre

#### I. Estimación del nivel equivalente

Para estimar el nivel equivalente para  $N$  periodos de duración  $T_i$  cada uno empleamos la siguiente relación matemática.

$$L_{Aeq,T} = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{1}{T} * \sum_{i=1}^N T_i * 10^{0.1 * L_{Aeq,T_i}} \right)$$

Donde:

$T$ : Tiempo total de la medición, min.

$T_i$ : Tiempo de medición para el periodo  $i$ , min.

$L_{Aeq,T_i}$ : Nivel equivalente de presión sonora para el periodo  $i$ , dB.

$N$ : Número de mediciones realizadas.

#### II. Ajustes por factores $K$

Según la Resolución 0627 de 2006, para los resultados de monitoreo se deben realizar los siguientes ajustes:

Artículo 6. Ajustes: Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A,  $L_{Aeq,T}$ ,  $L_{Aeq,T}$  Residual y nivel percentil  $L_{90}$ , se corrigen por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A,  $L_{RAeq,T}$ ,  $L_{RAeq,T,residual}$  y nivel percentil  $L_{90}$ , respectivamente.

Las correcciones, en decibeles, se efectúan de acuerdo con la siguiente ecuación para los parámetros de medida de que trata el Artículo 4 de la resolución 0627 de 2006:

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S)$$

Donde:

- *KI es un ajuste por impulsos (dB(A)) (si aplica)*
- *KT es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A)) (si aplica)*
- *KS es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A))*
- *(X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el artículo 4 de esta resolución*

Se presenta a continuación el cálculo para las correcciones por tonalidad, bajas frecuencia e impulsividad, de acuerdo con el Anexo 2 de la Resolución 0627 de 2006 y Anexo 3, Literal "E" del Capítulo II.

### III. Correcciones por Tonalidad (KT)

La corrección de nivel  $K_T$  toma en consideración los componentes tonales del ruido en el lugar de la medición y durante el tiempo que estén presentes estos tonos.

Por percepción nula de componentes tonales: 0 dB(A).

Por percepción neta de componentes tonales: 3 dB(A).

Por percepción fuerte de componentes tonales: 6 dB(A).

La manera detallada de evaluar la presencia de componentes tonales se presenta a continuación:

Se hace un análisis con resolución de 1/3 de octava.

Se calcula la diferencia:

$$L = L_t - L_s$$

Donde:

$L_t$  es el nivel de presión sonora de la banda  $f$  que contiene el tono puro;

$L_s$  es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de  $f$ .

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si  $L < 8 \text{ dB(A)}$ , no hay componentes tonales.
- Si  $8 \text{ dB(A)} < L < 12 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal neto.
- Si  $L > 12 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si  $L < 5 \text{ dB(A)}$ , no hay componentes tonales.
- Si  $5 \text{ dB(A)} < L < 8 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal neto.
- Si  $L > 8 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si  $L < 3 \text{ dB(A)}$ , no hay componentes tonales.

- Si  $3 \text{ dB(A)} < L < 5 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal neto.
- Si  $L > 5 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal fuerte.

#### IV. Correcciones por Impulsividad ( $K_I$ )

Si el ruido proviene de ciertas fuentes que emiten ruido de baja frecuencia, como por ejemplo las instalaciones de ventilación y climatización, se deben adicionar los siguientes valores a los niveles de presión sonora continuo equivalente con filtro de ponderación A,  $L_{Aeq,T}$ :

- Por percepción nula de componentes de bajas frecuencias: 0 dB(A).
- Por percepción neta de componentes de bajas frecuencias: 3 dB(A).
- Por percepción fuerte de componentes de bajas frecuencias: 6 dB(A).

Se determina el aporte de componentes de baja frecuencia de la siguiente manera:

Se registra el nivel de presión sonora continuo equivalente en banda ancha del ruido que se desea evaluar con filtros de ponderación A y C al mismo tiempo.

Si no se dispone de niveles sonoros medidos en dB(C), éstos se pueden obtener adicionando a la composición espectral en bandas de tercio de octava expresada en dB(A) la corrección que aparece en la Tabla 2.61, para representar la curva de ponderación C.

Luego se suman logarítmicamente todos los niveles de presión sonora expresados en dB(C) obtenidos en el análisis en bandas de tercio de octava para obtener el nivel de presión sonora continuo equivalente en banda ancha con filtro de ponderación C, a través de la siguiente ecuación:

$$L_{Ceq,T} = 10 * \left( \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_{Ceq,f_i}}{10}\right)} \right)$$

En la cual:

$L_{Ceq,f_i}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente con filtro de ponderación C para cada una de las bandas de tercios de octava, dB(C).

2. Se calcula el valor del indicador  $L_f$  de la siguiente forma:

$$L_f = L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$$

3. Si el valor de  $L_f$  es mayor o igual a 10 dB, hay componentes de baja frecuencia. En ese caso,  $K_S$  tomará los siguientes valores:

- 0 dB(A), si  $L_f < 10 \text{ dB}$ , no hay componentes de baja frecuencia.
- 3 dB(A), si  $10 \text{ dB} \leq L_f \leq 15 \text{ dB}$ , hay componentes netos de baja frecuencia.
- 6 dB(A), si  $L_f > 15 \text{ dB}$ , hay componentes fuertes de baja frecuencia.

**Tabla 2.61 Corrección para pasar de ponderación frecuencial A a ponderación frecuencial C.**

Frecuencia (Hz)	Corrección (dB)
10	56,1
12,5	52,2

Frecuencia (Hz)	Corrección (dB)
16	48,2
20	44,3
25	40,3
31,5	36,4
40	32,6
50	28,9
63	25,4
80	22
100	18,8
125	15,9
160	13,3
200	10,9
250	8,6
315	6,6
400	4,8
500	3,2
630	1,9
800	0,8
1000	0
1250	-0,6
1600	-1,1
2000	-1,4
2500	-1,6
3150	-1,7
4000	-1,8
5000	-1,8
6300	-1,9
8000	-1,9
10000	-1,9
12500	-1,9
16000	-1,9
20000	-1,9

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

#### V. Incertidumbre

Según la norma JCGM 100:2008, para la determinación de la incertidumbre en una medición se requiere del análisis de las posibles fuentes de incertidumbre involucradas durante el proceso de evaluación y cálculos del resultado final. La incertidumbre de dichas fuentes se puede calcular de dos maneras, como una incertidumbre estándar Tipo A o una incertidumbre estándar Tipo B.

- La incertidumbre estándar Tipo A: es obtenida de una función de densidad probabilística a través de una distribución de frecuencia de datos observados.
- Incertidumbre estándar Tipo B: es obtenida de una función de densidad probabilística asumida basado en el grado de confianza con el que ocurre un evento. Ambos enfoques emplean interpretaciones reconocidas de libertad.

Debido a que las mediciones de Ruido Ambiental se realizan puntualmente para un proceso o área específica, y en vista de que las condiciones de medición pueden variar notoriamente en el historial de datos, se ha adoptado un análisis Tipo B para las fuentes de incertidumbre correspondiente a los factores de calibración del equipo de medición.

En la Tabla 2.62, se resumen todas las fuentes que contribuyen a la incertidumbre de la medición del  $L_{RAeq,T}$  según la norma ISO 1996-2 de 2007.

**Tabla 2.62 Incertidumbre de medida del  $L_{RAeq,T}$  según la ISO 1996-2 de 2007.**

Incertidumbre estándar (dB)			Incertidumbre estándar combinada $L_{RAeq,T}$ (dB)	Incertidumbre de medida expandida (dB)
Instrumentación	condiciones de operación	clima y suelo		
$W$	$X$	$Y$	$\mu(L_{RAeq,T})$ $= \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2}$	$U(L_{RAeq,T})$ $= F_C * \mu(L_{RAeq,T})$

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

#### VI. Incertidumbre estándar instrumentación

La incertidumbre estándar para la instrumentación  $W$  depende de diferentes variables como son:

- Calibración del sonómetro (CE).
- Respuesta del sonómetro (Linealidad) (L).
- Resolución de escala (R).
- Calibración del calibrador (CC).
- Condiciones ambientales como temperatura (T), %humedad (%H).
- Otras como afectación por campos magnéticos, eléctricos, corrección por pantalla antiviento, presión ambiental, etc. (O).
- Asumiendo que las variables son no correlacionadas se puede estimar la incertidumbre por medio de la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt{\mu^2(CE) + \mu^2(L) + \mu^2(R) + \mu^2(CC) + \mu^2(T) + \mu^2(\%H) + \mu^2(O)} .$$

#### VII. Incertidumbre estándar por condiciones de operación

La evaluación de la incertidumbre por las condiciones de operación se puede evaluar como la desviación estándar de las  $N$  mediciones realizadas, tanto para el equivalente como para el residual. Esto matemáticamente se puede expresar así:

$$X = \frac{\sqrt{\frac{(L_{Aeq,T} - L_{Aeq,T_i})^2}{N - 1}}}{\sqrt{N}} = \frac{S(L_{Aeq,T})}{\sqrt{N}}$$

$$X = \frac{\sqrt{\frac{(L_{RAeq,T} - L_{Aeq,T_i} - (K_I, K_S, K_T) i)^2}{N - 1}}}{\sqrt{N}} = \frac{S(L_{RAeq,T})}{\sqrt{N}}$$

#### VIII. Estimación de la incertidumbre estándar por condiciones del clima y el suelo

Cuando la superficie total del terreno entre la fuente y la posición de medición es dura, y se encuentra en situación baja o alta, la incertidumbre estándar es de aproximadamente 0.5 dB.

$$\sigma_m = Y \cong 0.5 \text{ dB}$$

Las situaciones de baja y alta se cumplen cuando:

-Situación de alta

$$h_s \geq 1.5 \text{ m y } h_r \geq 1.5 \text{ m, ó } h_s < 1.5 \text{ m y } h_r \geq 4 \text{ m.}$$

-Situación de baja

$$h_s < 1.5 \text{ m y } h_r \leq 1.5 \text{ m.}$$

**Donde:**

$h_s$ : Altura de la fuente sobre el nivel del piso, m.

$h_r$ : Altura del receptor sobre el nivel del piso, m.

Para otras condiciones puede utilizar el Anexo A de la Norma ISO-1996-2 de 2007 con el fin de realizar una mejor estimación.

#### IX. Incertidumbre expandida

La Incertidumbre Expandida ( $U$ ) corresponde a la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada  $\mu_c(y)$  por un factor de cobertura  $K$ .

$$U = K * \mu_c(y)$$

La selección del factor de cobertura depende del nivel de confianza que se desea tomar en el resultado, para el caso puntual de las mediciones de ruido, se aplicará un factor de cobertura  $K = 2$ , el cual produce un intervalo de confianza de aproximadamente el 95.45%.

En la Figura 2.30, se muestra un esquema donde se evidencia el ingreso de las diferentes fuentes que contribuyen a la variabilidad del proceso de medición.

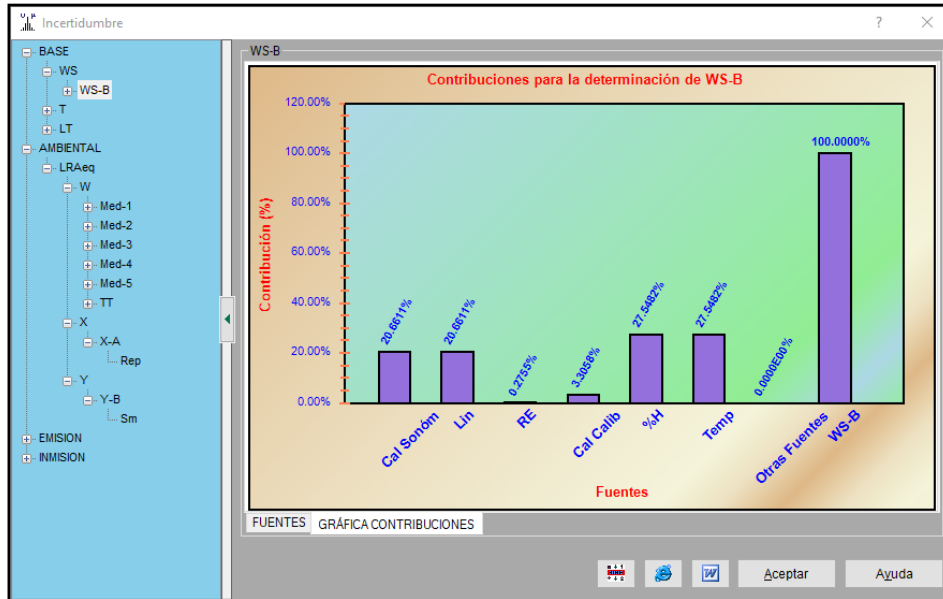


Figura 2.30 Cuantificación de las fuentes de incertidumbre asociadas al proceso de medición. Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.3.2 Medio biótica

#### 2.3.3.2.1 Ecosistemas terrestres

El ecosistema es la primera unidad de la jerarquía ecológica que es completa: tiene todos los componentes (biológicos y físicos) necesarios para la supervivencia. En consecuencia, es la unidad fundamental en torno a la cual se organizan la teoría y la práctica de la ecología<sup>68</sup>.

Para la identificación de los ecosistemas terrestres se utilizó la metodología implementada para la elaboración del Mapa Nacional de Ecosistemas Marinos y Terrestres para Colombia<sup>69</sup>, y posteriormente modificada por el IDEAM en su documento "Metodología para la elaboración del mapa de ecosistemas escala 1:100.000"<sup>70</sup> y actualizado con el mapa Nacional de Ecosistemas Marinos y Terrestres escala 1.100.000<sup>71</sup>. Mediante la cual se determinaron los Biomas descritos por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; presentes en el área de influencia biótica del proyecto, posteriormente, y con la delimitación de las coberturas vegetales, las cuales, se delimitaron teniendo en cuenta las características y especificaciones de la Metodología CORINE LAND COVER, adaptada para Colombia<sup>72</sup>.

Las coberturas vegetales se delimitaron utilizando imágenes satelitales, fotografías aéreas u ortofotomosaicos que permitieron una escala de mapeo mínima de 1:5000, con unidad mínima cartografiable de 100 m<sup>2</sup>. La vectorización o fotointerpretación de los polígonos se realizó

<sup>68</sup>(Odum & Warret, 2006)

<sup>69</sup>(IDEAM, Instituto Humbolt, Invemar e IGAC, 2017)

<sup>70</sup>(IDEAM, Instituto Humbolt, Invemar e IGAC, 2017)

<sup>71</sup>(IDEAM, Instituto Humbolt, Invemar e IGAC, 2017).

<sup>72</sup> (IDEAM, 2010)

utilizando el Software Arcgis 10.5 de ESRI. Llegando mínimo al nivel tres (3) hasta nivel cuatro (4) de clasificación de coberturas vegetales.

Al unir finalmente las coberturas vegetales, con los Biomas, dieron como resultado los ecosistemas terrestres a escala 1:5.000.

También se identificaron las zonas de vida que consisten en un grupo de asociaciones vegetales en un clima determinado, teniendo en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión. Se basa en el tipo de vegetación presente de acuerdo con las condiciones climáticas de la región y valores anuales de temperatura y precipitación, además de la altitud de la zona<sup>73</sup>. Para la determinación de las zonas de vida dentro del área de intervención se utilizó la metodología propuesta por Holdridge (1978)<sup>74</sup>.

#### A. Fase previa

Durante la fase previa a la caracterización y con el fin de conocer la flora potencialmente presente en el área de influencia del proyecto, se recopiló la información existente en las bases de datos del Herbario Nacional Colombiano (COL) del Instituto de Ciencias Naturales (ICN) de la Universidad Nacional de Colombia, del Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia).

#### B. Flora arbórea

##### 1. Fase de campo (muestreo florístico)

Los monitoreos de ecosistemas terrestres estuvieron amparados bajo el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales, otorgado mediante la Resolución 02373 del 29 de septiembre de 2022, emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Con el fin de caracterizar la composición florística del área de influencia del proyecto, se tomó como insumo el mapa de coberturas vegetales siguiendo la Metodología CORINE LAND COVER, adaptada para Colombia<sup>75</sup>, una vez identificadas las coberturas involucradas en la zona de estudio, se utilizó un diseño de muestreo estratificado, que consiste en asignar proporcional al tamaño en área de cada cobertura dentro del área de muestreo, un número tentativo y proporcional de parcelas para cada estrato o cobertura vegetal.

Una vez establecido el área de cada cobertura se procede a calcular el número óptimo de parcelas por cada estrato, en donde se efectuó una correlación directa entre el área de la cobertura con el número de parcelas a realizar, esto con el fin de alcanzar el número de parcelas necesarios para la estabilización del error de muestreo estratificado con un valor inferior al 15%.

Se establecieron parcelas rectangulares, de 10 x 20 metros, es decir de 200 m<sup>2</sup> (Ver Figura 2.31), donde se censaron, midieron y cartografiaron todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP a 1,3 m del suelo)  $\geq 10$  cm (fustales); a estos individuos se les tomó las mediciones de los parámetros dendrométricos tales como DAP, altura total y altura comercial, con miras a

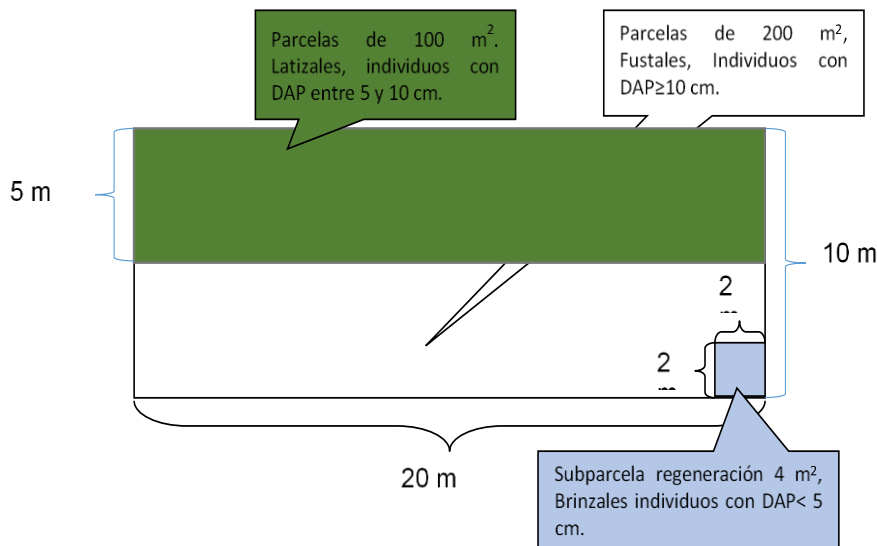
<sup>73</sup> (Torres, 2018).

<sup>74</sup> (HOLDRIDGE, 1978)

<sup>75</sup> (IDEAM, 2010)

realizar las posteriores estimaciones de área basal y los volúmenes (totales y comerciales) por parcela y por hectárea en cada cobertura. Con el volumen medio por parcela y hectárea se calculó la media, la desviación y error estándar de cada estrato; insumos necesarios para establecer un error mínimo de muestreo del 15% exigido en este tipo de estudios.

De igual manera, en un área del 50% de la parcela de muestreo, es decir 100 m<sup>2</sup>, se censaron los individuos con DAP entre 5 y 9,9 cm (Latizales) con el fin de caracterizar la regeneración natural de especies arbóreas, el cual se complementó con una parcela interna de (Brinzales) de 4m<sup>2</sup>, donde contaron todos los individuos con DAP <5 cm y altura inferior a 3m.



**Figura 2.31 Esquemas de las parcelas de muestreo.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

El censo de fustales en las parcelas de 200 m<sup>2</sup> consistió en la demarcación del área de estudio con detritos leñosos propios del bosque y que forman los vértices del rectángulo que demarca la parcela, posteriormente se unieron con fibra de polipropileno y de esta manera se demarcó el área de muestreo de 200 m<sup>2</sup> para fustales; a cada árbol con DAP ≥ 10 cm, se le asignó un número consecutivo, que fue marcado con pintura asfáltica para posteriores mediciones o corroboraciones, finalmente a cada individuo se le tomaron máximo tres (3) muestras botánicas, preferiblemente con flores y frutos, siempre y cuando el estado fenológico de la especie lo permitiera para su posterior identificación.



**Fotografía 2.1 Parcelas de Caracterización**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Las muestras botánicas fueron debidamente rotuladas con el número consecutivo de cada individuo dentro de la parcela, y transportadas hasta la zona de prensado en bolsas plásticas individuales para evitar el cruce de información con flores y frutos de otras especies, cada muestra fue desplegada en papel periódico y alcoholizada con alcohol al 70% de concentración para evitar el desprendimiento de hojas, frutos y flores y a su vez, el ataque de hongos que pudieran dañar la muestra hasta su traslado al herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), donde fueron secadas al horno durante 72 horas, posteriormente, se identificaron taxonómicamente utilizando colecciones de referencia y literatura especializada.



**Fotografía 2.2 Prensado de las especies colectadas en campo.**  
Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

La toma de información se diligenció por medio del aplicativo descargable Memento Database, el cual permite de manera digital realizar el censo antes mencionado. En la Figura 2.32 se presenta el modelo de almacenamiento digital con los campos necesarios para tomar la información en campo y su enlace para consulta directa.

Figura 2.32 Modelo de almacenamiento de información para parcelas de caracterización para Memento database

Fuente: (Memento DB Inc, 2025)

## II. Fase de análisis

### i. Fase de análisis

Con la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP), altura comercial, altura total y diámetros de copa, tomadas de los individuos dentro del área de muestreo, se calcula el DAP, el área basal, copa media y el volumen total y comercial por árbol utilizando las fórmulas de la Tabla 2.63. El factor de forma utilizado para los cálculos de este proyecto es de 0,65 y corresponde al valor del paraboloides para el cálculo del volumen de árboles en pie sugerido por el Proyecto de Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia<sup>76</sup>, avalada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARS).

Posteriormente, con base en los registros de campo se estiman los valores promedio de volumen por hectárea. Estos cálculos se realizan para los fustales y latizales, debido a que en ambos casos se realiza la medida del CAP. La densidad se calcula mediante el paquete BIOMASS de la herramienta estadística de R Studio. La biomasa aérea se calcula a partir de su zona de vida con ecuaciones alométricas para bosques naturales de Colombia y la biomasa de raíces con la fórmula obtenidas por Cairns et al. (1997)<sup>77</sup> ambas descritas en la metodología de (Yepes, y otros,

<sup>76</sup> (Rodríguez, 2013).

<sup>77</sup> (Cairns, 1997)

2011)<sup>78</sup>. Para la estimación del carbono total también se utiliza la ecuación descrita en (Yepes, y otros, 2011) (ver Tabla 2.63).

**Tabla 2.63 Fórmulas dasométricas**

<b>Diámetro a la altura al pecho</b>	
$DAP(cm) = \frac{CAP}{\pi}$	Donde: DAP (cm): diámetro a la altura al pecho CAP (cm): circunferencia a la altura al pecho
<b>Área basal</b>	
$AB(m^2) = \frac{DAP^2 * \pi}{40000}$	Donde: AB (m <sup>2</sup> ): área basal
<b>Volumen total</b>	
$Vt(m^3) = AB * ff * Ht$	Donde: Vt (m <sup>3</sup> ): volumen total ff: factor de forma (0.65) Ht (m): altura total
<b>Volumen comercial</b>	
$Vc(m^3) = AB * ff * Hc$	Donde: Vt (m <sup>3</sup> ): volumen total ff: factor de forma (0.65) Hc (m): altura comercial
<b>Diámetro de copa media</b>	
$DCM(m) = \frac{DC1 + DC2}{2}$	Donde: DCM (m): diámetro de copa media DC1 (m): diámetro de copa 1 DC2 (m): diámetro de copa 2
<b>Desviación estándar</b>	
$S = \sqrt{S^2}$	Donde: S: desviación estándar S <sup>2</sup> : Varianza del volumen total
<b>Cálculo de biomasa aérea</b>	
$AGB(kg) = 0.0673 * (P * H * DAP^2)^{0.976}$	Donde:

78 (Yepes, 2011)

	AGB: biomasa aérea ecuación 1 D: DAP P: densidad H: Altura total
<b>Cálculo de biomasa de raíces</b>	
$BRG (kg) = \exp(-1,085 + 0,9256 * \ln BA)$	BRG: biomasa de raíces BA: biomasa aérea
<b>Cálculo de biomasa total</b>	
$BT (kg) = BA + BRG$	BT: biomasa total BA: biomasa aérea BRG: biomasa de raíces
<b>Carbono</b>	
$Carbono (kg) = \frac{BT}{2}$	BT: biomasa total

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

ii. *Error de muestreo*

Para el cálculo del error del muestreo se utiliza el volumen total por parcela por hectárea, teniendo en cuenta solo los individuos de la categoría fustal utilizando las fórmulas mostradas en la Tabla 2.64; el valor del error de muestreo tiene que ser inferior a 15% requerido por la autoridad ambiental.

**Tabla 2.64 Estadísticos del error del muestreo estratificado**

Estadístico	Fórmula
Área por cobertura (ha)	
Volumen total promedio por cobertura	$V_p = \frac{\sum V t_i * \left(\frac{1ha}{50}\right)}{n}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{S^2}$
Error estándar por cobertura de la media	$Em = E * \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$
Numero de parcelas potenciales por cobertura	$N_j = \frac{A}{0,02}$
Proporción de la cobertura o del estrato (%)	$Pe = \frac{A}{At} * 100$
Media estratificada (m3)	$\bar{X} = \frac{\sum N_j V_p}{N}$

Estadístico	Fórmula
Error estándar de la media estratificada	$S_x = \sqrt{\frac{\sum N_j^2 S_{xj}^2}{N^2}}$
Numero de parcela totales necesarias	$n_i = \frac{N_j}{N} * n$
Numero de parcelas necesarias por cobertura	$n = \frac{t^2 \sum P_j S_j^2}{E + \frac{t^2 \sum P_j S_j^2}{N}}$
Numero de parcelas establecidas	$n$
Coefficiente de variación	$S\% = \frac{S * 100}{V_p}$
Error de muestreo por cobertura (%)	$e\% = \frac{S\%}{\sqrt{n_i}}$
Error de muestreo estratificado (%)	$E\% = \frac{S_x * t}{\bar{X}} * 100$

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### iii. Representatividad del muestreo

Para establecer la representatividad de los muestreos, se utilizan los estimadores no paramétricos de ACE, Chao 1 y Cole, mediante el programa EstimateS versión 9.1.0<sup>79</sup>; estos estimadores son recomendados para datos de abundancias según la Metodología para la Caracterización de Especies de Flora en Veda<sup>80</sup>, esto quiere decir que los datos que se requieren están asociados a la abundancia de individuos que pertenecen a una determinada clase en una muestra.

Estos modelos no paramétricos, también conocidos como libres de distribución, en los datos no asumen un tipo de distribución particular ni una serie de supuestos a priori que los ajusten a un modelo determinado<sup>81</sup>.

Una muestra es cualquier lista de especies en un sitio, localidad, cuadrante, país, unidad de tiempo, trampa, etc., en este caso parcelas de muestreo. Como se sabe, hay muchas especies que sólo están representadas por pocos individuos en una muestra (especies raras), comparadas con las especies comunes, que pueden estar representadas por numerosos individuos<sup>82</sup>.

Con estos estadísticos se construyó un gráfico de las curvas de rarefacción, como resultado de aleatorizar las curvas de acumulación 100 veces, generando una media con la acumulación de especies para realizar una evaluación visual de los estimadores y determinar el comportamiento

<sup>79</sup>(Colwell, 2013)

<sup>80</sup>(MADS, 2019)

<sup>81</sup>(Escalante, 2003)

<sup>82</sup>(Escalante, 2003)

del número de especies observado y el estimado por los estadísticos no paramétricos de ACE, Chao 1 y Cole.

iv. *Diversidad florística*

a. *Diversidad alfa*

Evaluar la diversidad biológica permite tener información de la variedad y abundancia de especies dentro de una comunidad determinada, su composición genética, su relación con los ecosistemas y paisajes en los cuales ocurre. Es importante, dado que permite conocer patrones de distribución, tanto espacial como temporal, además sirve como indicador de la situación puntual y la dinámica ecológica de la comunidad analizada<sup>83</sup>. Los cálculos de los índices de diversidad alfa se realizan por cada unidad de cobertura y se utiliza el paquete estadístico PAST 4 que arroja 12 índices, los cuales sirven para comparar la diversidad alfa entre coberturas como se muestra en la Tabla 2.65, entre estos índices se destaca Shannon y Simpson respecto a diversidad, Margalef y Menhinick encaminados a evaluar la riqueza de especies.

**Tabla 2.65. Índices de diversidad alfa evaluados por cobertura**

<b>Índice</b>
Taxa S
Individuals
Dominance D
Simpson 1-D
Shannon H
Brillouin
Menhinick
Margalef
Equitability J
Fisher alpha
Berger-Parker
Chao-1

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

b. *Taxa\_S*

Uno de los índices más utilizados para la medición directa de la riqueza de especies de una cobertura, es el número de especies<sup>84</sup>, que advierte en primera instancia de la “diversidad neta” que poseen los fragmentos de vegetación inventariados, teniendo en cuenta que con este no se considera el número de individuos que representa ni el área de muestreo donde se identificaron las especies<sup>85</sup>.

<sup>83</sup> (Magurran A. E., 2011)

<sup>84</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>85</sup> (KREBS, 1985)

*c. Individuals (Abundancia)*

Corresponde a la Abundancia o número de individuos por especie o por cobertura, aunque este índice depende del grado conservación o perturbación de las coberturas. Se utiliza como insumo para los índices de riqueza y estructura.

*d. Dominance\_D (Simpson)*

El índice de Simpson (D) hace referencia a la dominancia y se pondera según la abundancia de las especies más comunes<sup>86</sup>. Determina la posibilidad de que dos (2) individuos seleccionados al azar en una población o cobertura pertenezcan a la misma especie; los valores varían entre cero (0) y uno (1), donde se espera más diversidad mientras se acerque a cero, y menor diversidad o mayor dominancia de algunas especies si se acerca a uno. Este índice se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$D = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

Donde:

D: Índice de Simpson

ni: Número de individuos de la i-ésima especie

N: Número total de individuos

*e. Simpson\_1-D (Inverso de Simpson)*

El inverso de Simpson (1/D) representa el la diversidad o el contrario del índice D basado en la abundancia, fluctúa entre uno (1) que corresponde a una comunidad con una sola especie, a mayor diversidad mayor será el índice, por tanto, el número máximo corresponde al número de especies<sup>87</sup>.

*f. Shannon\_H*

El índice de Shannon asume que todas las especies están representadas en las muestras, estas varían entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre dos y tres; los inferiores a dos (2) se consideran bajos en diversidad y superiores a tres (3), con altos valores de diversidad<sup>88</sup>. El índice de Shannon es utilizado para medir la abundancia proporcional de especies; toma valores entre cero, cuando hay una sola especie y el logaritmo del número total de especies, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. La expresión matemática es la siguiente:

$$H = - \sum \left( \frac{n_i}{N} * \ln \frac{n_i}{N} \right)$$

Donde:

H: Índice de Shannon-Wiener

ni: Número de individuos de la i-ésima especie

<sup>86</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>87</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>88</sup> (Pla, 2006)

N: Número total de individuos

*g. Brillouin*

Este método es muy utilizado debido a su buena su capacidad de discriminación y el hecho de que, no está exageradamente influida por tamaño de la muestra. Es una medida satisfactoria de la situación, incluso cuando las abundancias de especies subyacentes no siguen una serie de registro, distribución y es menos afectado por la abundancia de las especies más comunes<sup>89</sup>.

$$HB = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$$

Donde:

HB: Índice de Brillouin

ni: Número de individuos de la i-ésima especie

N: Número total de individuos

*h. Margalef*

El Índice de diversidad de Margalef es una medida de la riqueza de especies, con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada, Los valores inferiores a dos (2) son considerados como de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a cinco (5) son considerados como indicativos de alta biodiversidad<sup>90</sup>.

$$D = \frac{(S - 1)}{\text{Log}N}$$

Donde:

S: Número de especies

N: Número total de individuos

*i. Equitability\_J*

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes.<sup>91</sup>

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

<sup>89</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>90</sup> (Margalef, 1994)

<sup>91</sup> (Magurran A. E., 1998)

Donde:

H: Índice de Shannon-Wiener

$H_{max}$ :  $\ln(S)$

xi. Fisher\_alpha

El Alfa de Fisher evalúa la diversidad en función del número de individuos y del número de especies, y asume que los individuos de cada especie están distribuidos al azar<sup>92</sup>. Este índice valida los resultados de los índices calculados anteriormente.

$$S = \alpha \text{Log}_e\left(1 + \frac{N}{\alpha}\right)$$

Donde

S: Número de especies de la muestra

N: Número de individuos de la muestra

$\alpha$ : Índice de diversidad

j. *Berger-Parker*

Este índice intrínseco simple expresa la importancia proporcional de la mayoría de las especies abundantes. Un incremento en el valor de este índice se interpreta como un aumento en la equidad y una disminución de la dominancia<sup>93</sup>.

$$d = \frac{N_{max}}{N}$$

Donde

$N_{max}$ : número de individuos en la especie más abundante

N: número de individuos de la muestra

k. *Chao-1*

Es un estimador del número de especies en una comunidad basado en el número de especies raras en la muestra<sup>94</sup>.

$$\text{Chao 1} = S + \frac{a^2}{2b}$$

Donde

S: Número de especies

---

<sup>92</sup> (Medianero, 2003)

<sup>93</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>94</sup> (Moreno, 2001)

- a: número de especies con un (1) individuo  
b: número de especies con dos (2) individuos

*I. Diversidad Beta*

*a. Coeficiente de similitud de Jaccard*

Se calcula el índice de similitud de Jaccard para evaluar la similitud entre coberturas, es decir, la cantidad de especies que comparten desde su composición. El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambas coberturas, hasta 1 cuando las dos coberturas tienen la misma composición de especies. En la Tabla 2.66 se presenta un esquema de evaluación del índice<sup>95</sup>.

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde

- $I_j$ : Coeficiente de similitud de Jaccard  
a: número de especies en la cobertura a  
b: número de especies en la cobertura b  
c: número de especies presentes en ambas coberturas

**Tabla 2.66 Índice de similitud de Jaccard para las coberturas evaluadas.**

<b>Cobertura</b>	<b>Cob 1</b>	<b>Cob 2</b>	<b>Cob 3</b>	<b>Cob 4</b>
Cob 1	1*			
Cob 2	0,36*	1*		
Cob 3	0,42*	0,31*	1*	
Cob 4	0,03*	0,06*	0,04*	1*

\*Valores esquemáticos

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2024.

*b. Coeficiente de similitud de Sørensen*

Relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios<sup>96</sup>.

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Donde:

- $I_s$ : Coeficiente de similitud de Sørensen  
a: número de especies en la cobertura a  
b: número de especies en la cobertura b

<sup>95</sup> (Magurran A. E., 1998)

<sup>96</sup> (Magurran A. E., 1998)

c: número de especies presentes en ambas coberturas

*i. Coeficiente de mezcla (CM)*

El cociente de mezcla se refiere al grado de intensidad de la mezcla de especies en una superficie dada<sup>97</sup>, da una idea general de la forma como se distribuyen los individuos en las diferentes especies en el área de estudio, en este caso por cobertura y está dado por la ecuación.

$$CM = \frac{N}{S}$$

Donde:

CM: Cociente de mezcla

N: Número de individuos

S: Número de especies

*ii. Índice de Valor de Importancia (IVI)*

El índice de valor de importancia define cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema<sup>98</sup>. Permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro de cada cobertura. Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad y la dominancia relativas.

*a. Densidad o abundancia relativa:*

Es el número de individuos de una especie dividida entre el número total de individuos de la comunidad multiplicado por cien.

$$Densidad (\%): \frac{\# \text{ individuos de la especie } X}{\# \text{ total de individuos}} * 100$$

*i. Frecuencia relativa:*

Es la frecuencia (número de parcelas en las cuales está presente la especie) dividida por la suma de las frecuencias de todas las especies, multiplicado por cien.

$$Frecuencia (\%): \frac{Frecuencia \text{ de la especie } X}{Frecuencia \text{ de todas las especies}} * 100$$

*ii. Dominancia relativa:*

La dominancia se mide en función al área basal (es el área en m<sup>2</sup> que ocupa un corte transversal del tronco) de cada una de las especies, se calcula dividiendo el área basal de la especie por la sumatoria de las áreas basales de todas las especies presentes en la parcela, multiplicándola por cien.

<sup>97</sup> (Cesar, 1980)

<sup>98</sup> (Cottam, 1956)

$$\text{Dominancia (\%)} = \frac{\text{Suma del área basal por especie}}{\text{Suma del área basal total de las especies}} * 100$$

Ahora el IVI, es la sumatoria de la densidad, frecuencia y dominancia, así:

$$\text{IVI(\%)} = \text{Densidad (\%)} + \text{Frecuencia(\%)} + \text{Dominancia (\%)}$$

iii. *Análisis de regeneración (Índice de valor de importancia ampliado (IVIA))*

Este índice propuesto por (Finol, 1971)<sup>99</sup> incorpora datos de regeneración y posición sociológica (estratos) al IVI tradicional, es un indicador más robusto y completo ya que adhiere análisis de la estructura vertical de las especies en determinado estrato, se expresa como:

$$\text{IVI ampliado} = \text{Ab.rel (\%)} + \text{Fr.rel (\%)} + \text{Dom.rel(\%)} + \text{Ps.rel(\%)} + \text{Rn.rel(\%)}$$

$$\text{IVI ampliado} = \text{IVI} + \text{Ps.rel(\%)} + \text{Rn.rel(\%)}$$

Donde:

IVI ampliado = Índice de valor de importancia ampliado

Ab.rel (%): Abundancia relativa

Fr.rel (%): Frecuencia relativa

Dom.rel: Dominancia relativa

Ps.rel (%): La posición sociológica relativa está dada por la posición sociológica absoluta/la sumatoria de las posiciones sociológicas absolutas de todas las especies presentes en la cobertura (i) (brinzales, latizales y fustales), a su vez, la posición sociológica absoluta de la especie (j) está dado por la frecuencia de individuos de la especie (i) dentro de las clases de tamaño (dominante, codominante y dominado), ponderada por la abundancia relativa de individuos en cada categoría de tamaño.

$$\text{Ps.rel(\%)} = \frac{\text{Ps.Absoluta}}{\sum \text{Ps.Asoluta}} * 100$$

Rn.rel (%): la regeneración natural relativa para cada cobertura está dada por la sumatoria entre, la abundancia relativa de los individuos <10 cm de DAP, la frecuencia relativa de individuos <10 cm DAP, y la categoría de tamaño relativa que se calcula igual que Ps.rel (%), pero solo para individuos <10 cm DAP.

$$\text{Rn.rel(\%)} = \text{Ab.rel(\%)} + \text{Fr.rel(\%)} + \text{Ct(\%)}$$

iv. *Estructura espacial*

a. *Estructura horizontal*

El análisis de distribución de clases diamétricas de los individuos en las categorías de fustales se desarrolla de forma diferencial por cobertura. El establecimiento de categorías de clase se realiza de acuerdo con los valores máximos y mínimos de cada parámetro (DAP y altura), el número de

<sup>99</sup> (Finol Urdaneta, 1971)

intervalos para el histograma de frecuencias se determina utilizando la fórmula de Sturges, que relaciona el número de individuos dentro de cada cobertura con el logaritmo.

La amplitud de los intervalos se determina por la diferencia de los valores máximos y mínimos evaluados divididos por el número de intervalos<sup>100</sup>.

**Numero de intervalos**

$$m = 1 + \log N$$

**Amplitud de cada intervalo**

$$C = (X_{max} - X_{min})/m$$

*i. Estructura vertical*

También conocida como estratificación; se relaciona con la distribución de la vegetación desde el nivel del suelo hasta el dosel, lo cual permite realizar un diagnóstico sobre la dinámica del ecosistema y el estado de desarrollo de este. Para el presente análisis de distribución de clases altimétricas se utiliza la misma metodología de la estructura horizontal empleando las ecuaciones anteriores.

*v. Perfiles de vegetación*

La caracterización de los perfiles de vegetación se realiza con base en la importancia ecológica de las especies más dominantes en cada una de las parcelas muestreadas para cada cobertura en estudio. Los perfiles de vegetación se pueden determinar según la fisionomía (estructura) o por la composición florística (identificación) de las especies presentes. El perfil se construye tomando un rectángulo representativo de cada cobertura y dibujando a escala los fustales que presentaron un mayor IVI, centrándose en sus características fisonómico-estructurales<sup>101</sup>. De esta forma, se diseñan los perfiles para estratos arbóreos presentes en las coberturas naturales o que reflejan un grado de sucesión natural medianamente avanzado.

*vi. Grado de sociabilidad*

El estudio de la dispersión espacial es un factor fundamental para comprender o determinar el efecto de sucesos pasados sobre el patrón de distribución actual<sup>102 103</sup>. Evaluar el grado de agregación o dispersión de las especies, permite además identificar mecanismos y factores que mantienen y promueven la coexistencia de especies y la diversidad vegetal de los ecosistemas naturales<sup>104</sup>.

En este sentido, la distribución espacial de las especies por cobertura se determina mediante el índice de dispersión de Morisita (Iδ), que tiene en cuenta tanto la similitud en la composición de especies como la semejanza de las abundancias. Para su aplicación, se siguió la metodología sugerida por (Cabrera & Wallace, 2007)<sup>105</sup>.

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

---

<sup>100</sup> (Rangel-Ch, 1997)  
<sup>101</sup> (Matteucci & Colma, 1992)  
<sup>102</sup> (Dale, 1999)  
<sup>103</sup> (Levine, 1992)  
<sup>104</sup> (Hyatt, y otros, 2003)  
<sup>105</sup> (CABRERA & WALLACE, 2007)

entre -1 y +1, donde  $I_p = 0$  presenta una distribución aleatoria,  $I_p > 0$  distribución agregada y  $I_p < 0$  distribución uniforme<sup>106</sup>. El índice se define como:

$$I\delta = n \left[ \frac{\sum X^2 - \sum X}{(\sum X)^2 - \sum X} \right]$$

Donde:

n: Número de parcelas por cobertura

X: Número de individuos por especie i en la parcela j

$X^2$ : Número de individuos por especie i en la parcela j, elevado al cuadrado

a. *Índice de uniformidad (M)*

$$M_\mu = \frac{X_{0,975}^2 - n + \sum X_i}{(\sum X_i) - 1}$$

Donde:

$X_{0,975}^2$ : Valor chi-cuadrado con n-1 grados de libertad con 97,5% de intervalo de confianza.

i. *Índice de agrupamiento (Agregación)*

$$M_c = \frac{X_{0,025}^2 - n + \sum X_i}{(\sum X_i) - 1}$$

Donde:

$X_{0,025}^2$ : Valor chi-cuadrado con n-1 grados de libertad con 2,5% de intervalo de confianza.

El índice de Morisita  $I_p$  se realiza mediante los siguientes parámetros<sup>107</sup>:

$$I\delta \geq M_c > 1: \quad I_p = 0,5 + 0,5 \left( \frac{I\delta - M_c}{n - M_c} \right)$$

$$M_c > I\delta \geq 1: \quad I_p = 0,5 \left( \frac{I\delta - 1}{M_c - 1} \right)$$

$$1 > I\delta > M_U: \quad I_p = 0,5 \left( \frac{I\delta - 1}{M_U - 1} \right)$$

$$1 > M_U > I\delta: \quad I_p = -0,5 + 0,5 \left( \frac{I\delta - M_U}{M_U} \right)$$

El  $I_p$  fluctúa de -1,0 a 1,0, determinando el grado de dispersión o patrón de distribución de las especies de la siguiente manera: patrones aleatorios dan un valor de  $I_p$  igual a cero; patrones agregados por encima de cero y patrones uniformes por debajo de cero.

<sup>106</sup> (CABRERA & WALLACE, 2007)

<sup>107</sup> (KREBS, 1985)

*vii. Especies sensibles o de importancia ecológica*

Las categorías de amenaza surgen de la necesidad de reducir los efectos negativos que el hombre ha provocado en el medio ambiente y las pérdidas significativas de biodiversidad que se han producido. En Colombia se acoge a listados y acuerdos internacionales como:

La categoría CITES<sup>108</sup>, es un acuerdo internacional entre los gobiernos, donde su fin es velar por supervivencia de las especies y que el comercio internacional de animales y plantas no constituya un riesgo. Agrupa las especies en tres apéndices según el grado de amenaza debido al comercio internacional.

Para la categoría UICN<sup>109</sup>, reúne los gobiernos, naciones, ONG y científicos en una asociación mundial. Tiene como misión alentar a las personas de todo el mundo a conservar la integridad y la diversidad de la naturaleza velando por un uso equitativo de los recursos naturales.

A nivel nacional la Resolución 1912 de 2017<sup>110</sup> "Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones", expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, contempla de forma detallada la lista de especies amenazadas que se encuentran en los ecosistemas terrestres y marinos del territorio nacional. Donde se establece una categorización y clasificación de las especies que se encuentran en peligro.

En la Resolución 0213 de 1977 del INDERENA veda en todo el territorio nacional el aprovechamiento, transporte y comercialización de las especies, y las declara plantas y productos protegidos, ahí se incluyen lo son musgos, líquenes, lamas, parásitas, quiches y orquídeas.

C. Flora de hábito epifito y otros hábitos

*I. Fase de campo*

Para la caracterización de epifitas vasculares y no vasculares en forófitos y otros sustratos, se utiliza la metodología RRED (Rapid and Representative Analysis of Epiphyte Diversity)<sup>111</sup>, la cual está diseñada para generar información rápida y representativa de las comunidades de epifitas vasculares y no vasculares, donde la unidad de muestreo es el forófito. Es de aclarar que la caracterización se realizara por cobertura como se explicara en apartados posteriores. El muestreo de epifitas vasculares se realizó para todos los individuos de carácter epifito que incluyen especies vedadas como bromelias y orquídeas y demás flora epifita acompañante que se pueda encontrar en el forófito.

*i. Muestreo de epifitas vasculares y no vasculares en forófitos*

Para la selección de los forófitos se tuvo en cuenta los criterios descritos en la Tabla 2.67.

<sup>108</sup> (CITES, 2021 )

<sup>109</sup> (UICN, 2022)

<sup>110</sup> (MADS , 2017)

<sup>111</sup> (GRADSTEIN, 2003)

**Tabla 2.67 Criterios para la selección de forófitos**

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

Fuente: Modificado y adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2019.

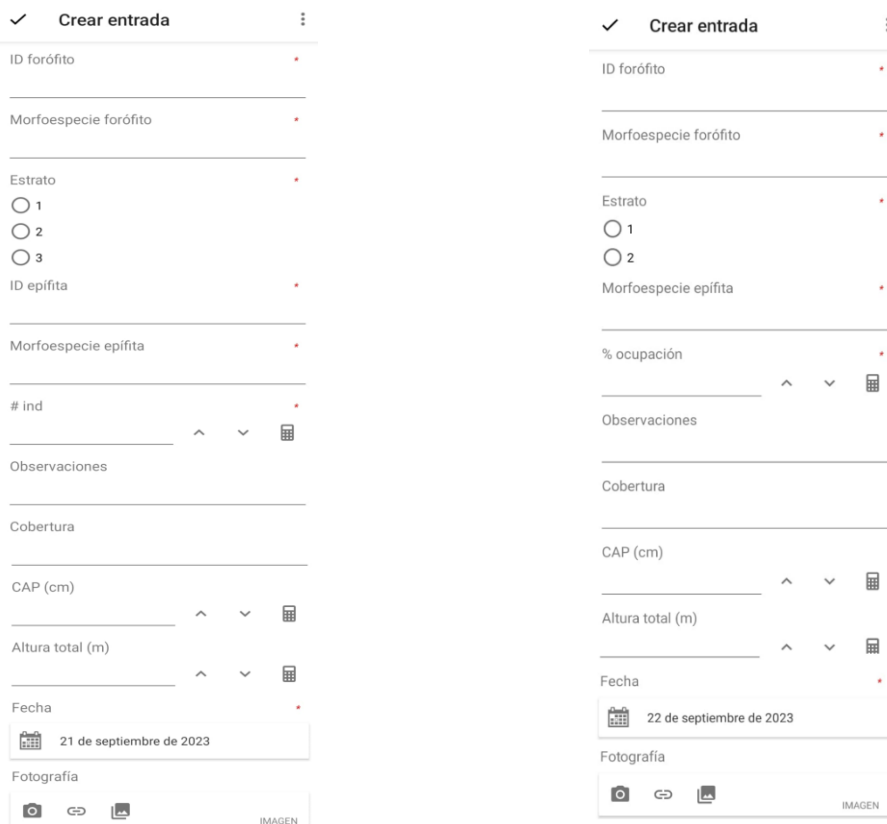
Cada forófito seleccionado es georreferenciado con GPS y marcado con pintura asfáltica, señalando cada árbol con la letra "F" seguida de un número consecutivo. Para cada árbol se realiza el registro y medición de variables dasométricas mediante el inventario de flora descrito anteriormente. En los casos en que el profesional botánico no determine la identidad taxonómica del forófito, se procede a coleccionar una muestra botánica del individuo para su posterior identificación en herbario.



**Fotografía 2.3. Marcaje de forófitos para caracterización.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2024.

La toma de información se diligencia por medio del aplicativo descargable Memento Database, el cual permite de manera digital realizar el censo antes mencionado. En la Figura 2.33 se presenta el modelo de almacenamiento del aplicativo de Epifitas Vasculares y no Vasculares, el link de cada plantilla corresponde a <http://libs.mobi/t/5168582286639104> (Epifitas vasculares) y <http://libs.mobi/t/6251915712135168> (Epifitas no vasculares).



The figure shows two side-by-side screenshots of the Memento Database application interface. Both screens are titled 'Crear entrada' (Create entry) and feature a list of input fields for data collection. The left screen is for vascular epiphytes and includes fields for 'ID forófito', 'Morfoespecie forófito', 'Estrato' (with radio buttons for 1, 2, 3), 'ID epífita', 'Morfoespecie epífita', '# ind' (with a calculator icon), 'Observaciones', 'Cobertura', 'CAP (cm)', 'Altura total (m)', 'Fecha' (with a date picker showing '21 de septiembre de 2023'), and 'Fotografía' (with camera and gallery icons). The right screen is for non-vascular epiphytes and includes fields for 'ID forófito', 'Morfoespecie forófito', 'Estrato' (with radio buttons for 1, 2), 'Morfoespecie epífita', '% ocupación' (with a calculator icon), 'Observaciones', 'Cobertura', 'CAP (cm)', 'Altura total (m)', 'Fecha' (with a date picker showing '22 de septiembre de 2023'), and 'Fotografía' (with camera and gallery icons).

**Figura 2.33 Modelo de almacenamiento de datos para epifitas vascular y no vasculares en Memento database**

Fuente: (Memento DB Inc, 2023)

*ii. Intensidad del muestreo para epifitas vasculares y no vasculares*

La determinación de intensidad del muestreo se realizó con base en la metodología para el Análisis Rápido y Representativo de la Diversidad de Epífitas (RRED-analysis). propuesto por Gradstein *et al.*, (2003) y modificada por el MADS, (2019)<sup>112</sup>, a partir del porcentaje potencial de área con presencia de vegetación arbórea en las coberturas de la tierra objeto de intervención, pues esta es el área en la que potencialmente se evalúan los forófitos, en la Tabla 2.68 se presenta, a modo de ejemplo, la intensidad de muestreo propuesta para diferentes coberturas dependiendo de su complejidad, esta intensidad sigue los lineamientos descritos en la

<sup>112</sup> (MADS, 2019)

Metodología para la caracterización de especies de flora en Veda<sup>113</sup>. Se utilizó la misma intensidad de muestreo para epifitas no vasculares (Briofitos y Líquenes). Es importante aclarar que el muestreo se realiza por cobertura como se mostró anteriormente y los cálculos posteriores se realizaran con base al muestreo realizado teniendo en cuenta las coberturas caracterizadas y de manera independiente.

**Tabla 2.68 Ejemplo de intensidad de Forófitos evaluados en un área de intervención**

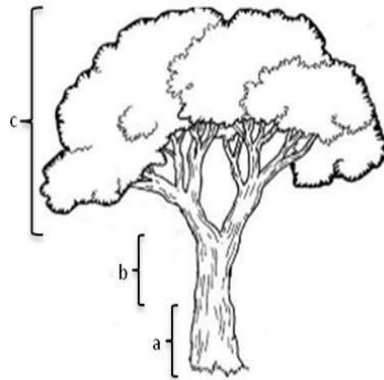
Cobertura	Área de intervención (ha)	N° Forófitos/ha	N° Forófitos totales
Bosque de galería y ripario	1	8	8
Bosque denso	1	8	8
Maíz	1	1	1
Pastos arbolados	1	3,2	3,2
Pastos enmalezados	1	2,4	2,4
Pastos limpios	1	2,4	2,4
Ríos	1	0	0
Red vial y territorios asociados	1	0	0
Tejido urbano discontinuo	1	0	0
Vegetación secundaria alta	1	8	8
Total	10	-	33

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

Para la caracterización de las epifitas vasculares, los forófitos son estratificados en tres (3) rangos de altura, de acuerdo a la metodología de estratos verticales propuesta por (Johansson, 1974) con algunas modificaciones. El estrato número uno (1) se define como la zona comprendida entre la base del árbol y 1,3 metros de altura, el estrato dos (2) se asume como la zona comprendida desde el punto donde termina el estrato 1 hasta la primera ramificación del forófito, y el estrato tres (3) comprende la zona desde la primera ramificación del árbol hasta el final de su copa<sup>114</sup> (ver Figura 2.34). En cada estrato se registran las epifitas vasculares presentes y se realiza una estimación del número de individuos encontrados para cada especie. Las muestras recolectadas en campo y debidamente preservadas fueron trasladadas al herbario de la Universidad de Antioquia, para ser secadas y posteriormente identificadas.

<sup>113</sup> (MADS, 2019)

<sup>114</sup> (Johansson, 1974)



**Figura 2.34 Subdivisión del forófito en estratos verticales.**

Fuente: Modificado de (Johansson, 1974).

Para el muestreo de epífitas no vasculares se divide el forófito en dos estratos:

- Estrato 1: a 0,50 m de altura (Base).
- Estrato 2: a una altura variable donde se observan cambios en la composición de la comunidad de epífitas (Tronco) aproximadamente a 1,8 de altura.

En cada estrato se establece una plantilla de 400 cm<sup>2</sup> sobre el tronco, empleando una malla de 20 cm x 20 cm, con ojo de un (1) cm. En estas cuadrículas de 400 cm<sup>2</sup> se mide el porcentaje total que ocupa cada morfoespecie dentro de la cuadrícula, para posteriormente calcular la ocupación en área (cm<sup>2</sup>) dentro de la cuadrícula (ver Fotografía 2.4).



**Fotografía 2.4 Muestreo de epífitas no vasculares**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2024.

## II. Fase de análisis

### i. Afinidad al forófito por cobertura

La preferencia por hospedero es importante, ya que no todos los árboles ofrecen un buen hábitat para las epífitas. Los árboles con cortezas resquebrajadas o arrugadas, cubiertas de líquenes y musgos parece que ofrecen un buen lugar para el establecimiento de las semillas y esporas de las epífitas, las cuales están forzadas a producir un mayor número de descendientes que sus parientes propios del suelo debido a que gran cantidad de sus esporas y semillas no logran ubicarse en un lugar conveniente para su desarrollo<sup>115</sup>. De esta manera se realiza el análisis de forófitos mediante el conteo de especies de epífitas vasculares por forófito, y para epífitas no vasculares se realiza la cuantificación o la sumatoria del área por especie reportada en el muestreo por cobertura. Es importante aclarar que la evaluación se realiza teniendo en cuenta la información de la especie del forófito con respecto a las especies encontradas de epífitas vasculares y no vasculares y sus respectivas abundancias.

### ii. Análisis de diversidad Alfa para epífitas vasculares y no vasculares

Los cálculos de los índices de diversidad Alfa se realizan por cada unidad de cobertura y se utiliza el paquete estadístico PAST 4<sup>116</sup>, que arroja 13 índices, los cuales sirven para comparar la diversidad alfa entre coberturas como se muestra en la Tabla 2.65, entre estos índices se destaca Shannon y Simpson respecto a diversidad, Margalef y Menhinick encaminados a evaluar la riqueza de especies.

### iii. Análisis de Diversidad Beta para epífitas vasculares y no vasculares

Se calcula el índice de similitud de Jaccard para evaluar la similitud entre coberturas, es decir, la cantidad de especies que comparten desde su composición. En Tabla 2.68 se presenta un esquema de evaluación del índice.

**Tabla 2.69 Índice de similitud de Jaccard para las coberturas evaluadas.**

Cobertura	Cob 1	Cob 2	Cob 3	Cob 4
Cob 1	1			
Cob 2	0,36	1		
Cob 3	0,42	0,31	1	
Cob 4	0,03	0,06	0,04	1

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

### v. Análisis de estructura horizontal y vertical para las epífitas vasculares y no vasculares

#### a. Estructura horizontal en EV y EnoV

El Índice de Valor de Importancia (IVI) es un indicador de la importancia fitosociológica de una especie, dentro de una comunidad<sup>117</sup>; es un índice bastante útil para estimar el peso ecológico que presentan las especies dentro de una población. El IVI para las epífitas vasculares se determina mediante la frecuencia en los forófitos, la frecuencia en cada uno de los tres (3) estratos

<sup>115</sup> (Granados-Sánchez, López-Ríos, Hernández-García, & Sánchez-González, 2003)

<sup>116</sup> (Hammer & Harper, 2001)

<sup>117</sup> (Curtis, 1951)

y la dominancia proporcionada por el número de individuos de cada especie. Por otra parte, el IVI para las epífitas no vasculares se calcula teniendo en cuenta la frecuencia en los forófitos, la frecuencia en los dos (2) estratos y la dominancia dada por el área de ocupación en  $\text{cm}^2$  de cada especie.

*b. Estructura vertical en EV y EnoV*

Se evalúa la distribución en cada uno de los estratos arbóreos de las diferentes especies de epífitas vasculares y no vasculares que sean reportadas en el estudio, mediante el IVI que se determina de la frecuencia dentro de cada estrato y la dominancia antes mencionada. Para epífitas vasculares se utilizaron los tres estratos evaluados y para Epífitas no vasculares solo 2 estratos.

*vi. Representatividad del muestreo para epífitas vasculares y no vasculares*

Para establecer la representatividad de los muestreos, se utiliza los estimadores no paramétricos dependiendo del grupo evaluado, se emplea el programa EstimateS versión 9.1.0<sup>118</sup> para generar las curvas de rarefacción a partir de curvas de acumulación aleatorizadas 100 veces, tratando de generar rangos de distribución, que a su vez permitan definir y analizar mediante estimadores no paramétricos su representatividad, la cual debe ser superior al 85%.

Las curvas de acumulación o el análisis de representatividad se realizan por cobertura evaluada. En el caso de epífitas vasculares se utilizan estimadores para datos cuantitativos como CHAO 1, ACE, COLE, SINGLETONS y DOUBLETONS. Para epífitas no vasculares se utilizaron estimadores para datos de presencia ausencia como CHAO 2, ICE, UNIQUE y DUPLICATE.

*vii. Estimación de epífitas vasculares y no vasculares a afectar*

Se estima el número total de individuos de epífitas vasculares a afectar por una relación directa entre el número de epífitas reportadas, el número de forófitos caracterizados y el número de árboles a intervenir en el área de implantación del proyecto.

Para las epífitas no vasculares se estima el área total en  $\text{m}^2$  que será afectada con la ejecución del proyecto. En primer lugar, se determina el área efectiva disponible proporcionada por las dimensiones de cada árbol evaluado en el inventario, se estima el porcentaje de epifitismo, condicionado por la presencia o ausencia de poblaciones de epífitas en los forófitos, para poder conocer el área de ocupación estimada en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ ). Se determina el porcentaje de ocupación promedio de las epífitas no vasculares registradas en el muestreo y se multiplica por el área de ocupación antes mencionada para finalmente obtener el área afectada de epífitas no vasculares, un área de briofitos y un área de líquenes.

*viii. Especies vasculares y no vasculares en otros sustratos*

Para la caracterización de especies vasculares (Bromelias y Orquídeas), no vasculares como (Musgos, Hepáticas y Líquenes) presentes en otros sustratos suelo, roca y madera en descomposición, se establecieron cuadrículas de  $1 \text{ m}^2$  en el área de implantación del proyecto, en una intensidad de 6 parcelas por sustrato por cobertura, para un total de 18 parcelas por cobertura (Ver Tabla 2.70).

---

<sup>118</sup> (Colwell, 2013)

Cada parcela se enumeró en campo, siguiendo un número consecutivo precedido por la letra que registra el sustrato evaluado, para Suelo (S), Roca (R) y Madera en descomposición (MD), como se muestra en la Fotografía 2.5.

**Tabla 2.70 Diseño de muestreo para la flora presente en otros sustratos (Terrestre, Rupícola y madera en descomposición).**

<b>Muestreo flora presente en otros sustratos</b>	
Vasculares Mínimo 6 parcelas de 1 x 1 m en cada cobertura.	Dentro de cada una las parcelas de 1m x1m, se realizó el conteo al 100 % de individuos vasculares dentro del cuadrante.
No vasculares Mínimo 6 parcelas de 1 x 1 m en cada cobertura.	Dentro de cada una de las parcelas de 1m x 1m, se realizó el registro de las abundancias de las especies halladas mediante el uso de la cuadrícula en acetato.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente Desarrollo Sostenible y Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2019.



**Fotografía 2.5 Marcación Epífitas en otros sustratos.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

El análisis de información de otros sustratos corresponde a los ya antes descritos por cobertura y por sustrato como afinidad al sustrato, composición, diversidad alfa y beta, representatividad del muestreo.

### C. Análisis de fragmentación y conectividad

#### I. Fragmentación y Conectividad estructural

La conectividad del paisaje es entendida como la facilidad que presenta un territorio para que se dé la movilidad de la biota (flora y fauna) en este, a través de los diferentes tipos de fragmentos que conforman cada cobertura, y se considera necesaria para sostener y conservar los procesos ecológicos de cada región entre los que se encuentran el flujo genético, la migración, dispersión entre otras<sup>119</sup>.

Se han definido dos (2) tipos de conectividad: la estructural y la funcional. La primera se refiere a los atributos físicos que conforman el paisaje enmarcado en la distribución y forma de los parches que caracterizan cada cobertura y su conexión espacial, mientras que la segunda se debe a las características funcionales lo cual tiene que ver con la respuesta que presentan las diferentes especies de flora y fauna a la estructura física del paisaje<sup>120</sup>.

La conectividad estructural, se valora a través de distintos índices y métricas del paisaje, las cuales permiten obtener información respecto a las relaciones espaciales de las coberturas, aportando datos de área, perímetro, forma, proximidad, entre otros, y con base en lo cual se puede inferir el nivel de conectividad del paisaje o su inverso definido como el grado de fragmentación.

Para evaluar la conectividad estructural y funcional de la zona, se toma una ventana de análisis o área de influencia biótica en función de conectividad para objeto de conservación.

Para el análisis de fragmentación y conectividad se utilizan las coberturas asociadas a la temporalidad de estudio o escenario actual (Sin Proyecto) y el escenario futuro denominado (Con Proyecto).

Con este escenario se espera determinar la variación de las coberturas hasta la fecha de caracterización de los ecosistemas, la cual permitió establecer una línea base que permita conocer los posibles cambios que puedan presentarse en etapas futuras. Para dicho análisis empleó la herramienta V-LATE 2.0<sup>121</sup>. (Vector based Landscape Analysis Tool Extension), disponible para ArcGIS 10.8, mediante la cual se calcularon los índices de forma, de área, de borde, entre otros, los cuales aportaron datos numéricos importantes en la caracterización de la zona de estudio (Ver Tabla 2.71).

**Tabla 2.71 Métricas de análisis**

<b>Métricas</b>	<b>Descripción</b>
Área Total	Área total de los parches
Número de parches	Corresponde al número de parches de una cobertura
Tamaño medio del parche (ha)	Corresponde al promedio de las áreas de los parches
Área total de parche	Es la suma de las áreas de todos los parches de una cobertura
Área de borde	Es el área donde se encuentran dos o más coberturas

<sup>119</sup> (Correa, Mendoza, & López, 2014)

<sup>120</sup> (Alonso, Finegan, Brenes, Günter, & Palomeque, 2017)

<sup>121</sup> (Lang & Tiede, 2003)

Métricas	Descripción
Área de borde medio	Es el área promedio donde se encuentran dos o más coberturas
Índice de Forma	Es igual a uno cuando el fragmento es circular y aumenta a medida que la forma del fragmento se vuelve más irregular.
Índice de Dimensión Fractal	Se acerca a uno en formas de perímetros muy sencillos tales como círculos o cuadrados, y se acerca a dos en formas de perímetros altamente lobulados
Distancia euclidiana al vecino más Cercano*	Distancia de cada parche con respecto a su vecino más cercano
Índice de proximidad	Relaciona la presencia de parches del mismo tipo dentro de un buffer específico
Parches Core	Son áreas dentro de una cobertura específica que elimina el efecto de borde e indican la calidad de un parche o un hábitat idóneo para especies de fauna y flora.

Fuente: MacGarigal, 2002.

Para determinar la funcionalidad del paisaje se calcula el área Core o área núcleo, la cual corresponde a la porción de área del fragmento que no tiene efecto de borde. La distancia de borde para los fragmentos se realiza definiendo un buffer, 10 m establecidos a partir de la escala definida para la digitalización de las coberturas y los valores teóricos empleados en la literatura, a partir del cual, se espera que los efectos del borde desaparezcan.

El núcleo se considera vital para la ocurrencia y el mantenimiento de las especies de fauna y flora especialistas, cuyos nichos ecológicos tienen menor amplitud a diferencia de las especies generalistas. Es decir, sus requerimientos ambientales son más especializados que los de las especies generalistas. Estas últimas usualmente se presentan hacia los bordes de los fragmentos o en áreas intervenidas <sup>122</sup>.

Los cambios en el paisaje en el tiempo se evaluaron por medio de la comparación de métricas del paisaje de las coberturas de la tierra en estadio de sucesión intermedia a avanzada.

#### D. Conectividad funcional

La conectividad funcional se define como la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje, en este último influyen los requisitos de hábitat de la especie, la tolerancia a hábitats alterados y la fase de vida. En este sentido, las especies, aunque vivan en el mismo hábitat tienen respuestas conductuales diferentes y por lo tanto experimentan niveles distintos de conectividad <sup>123</sup>.

##### 1. Especie de interés

Con el fin de evaluar la funcionalidad del área de estudio se seleccionaron dos especies con alto valor ecológico, por lo que es de gran importancia conservar su hábitat. En este sentido se obtuvo información secundaria relacionada con la dieta, preferencias de hábitat, rango de hogar/distancia

<sup>122</sup> (Forman, 1995)

<sup>123</sup> (BENNET & Paisaje., 1998)

recorrida, grado de amenaza y/o vulnerabilidad, que aportan al análisis dentro del territorio, por lo que garantizar la conservación de sus poblaciones pudiera implicar la proyección de poblaciones de otras especies simpátricas de su mismo gremio.

## *II. Selección de variables*

La selección de variables se llevó a cabo considerando el estudio del hábitat, la dieta y los rangos de área de las especies seleccionadas. Estas variables, que servirán como insumo para el modelo de conectividad funcional, buscan representar las principales características de las especies y su interacción con el entorno evaluado. El atributo más importante de las variables es que sean fácilmente cartografiables, para facilitar la asignación de valores de fricción o impedancia.

De acuerdo con las condiciones requeridas para la especie focal a modelar se realizó el análisis de las variables ambientales (coberturas, drenajes, equipamientos, entre otros) que pueden generar una resistencia o fricción al movimiento de las especies. Una vez definidas dichas variables y de acuerdo con las condiciones requeridas para las especies a modelar, se realizó el análisis de las variables ambientales respecto a la probabilidad de generar una resistencia o fricción al movimiento de las especies. Este análisis permite obtener un mapa que representa la facilidad o dificultad que ofrece el terreno dentro de la ventana de análisis para que la especie haga sus recorridos. Es importante aclarar que los niveles de restricción se encuentran dados por: Muy facilitador (áreas muy favorables para la movilidad de la especie, restrictivo (medianamente favorable para la movilidad de la especie), Muy restrictivo (áreas desfavorables para la movilidad de la especie). Estos criterios se definieron para cada una de las especies, dependiendo de sus características específicas como movilidad, dieta y hábitat, a continuación, se describen las variables utilizadas en el modelo.

## *III. Procesamiento de la información*

Para evaluar la conectividad funcional, se generaron dos insumos principales: el ráster barrera y las áreas core, utilizando el software ArcGIS 10.8.

El proceso inició con la rasterización de las variables previamente definidas. Para capas que cubren el 100% del área de estudio, como coberturas y cercas vivas, se empleó el método de reclasificación. En el caso de variables puntuales o lineales, como cuerpos de agua, vías y equipamientos, se utilizó el método de distancia euclidiana. Posteriormente, algunas variables fueron normalizadas mediante un modelo relacional, restringiendo los valores entre 1 y 100 para estandarizar los ráster resultantes.

El ráster barrera se obtuvo mediante la herramienta "Weighted Sum", integrando las variables rasterizadas para generar escenarios con y sin proyecto. Las áreas core (shapefile) se delimitaron con base en las coberturas de interés para las especies estudiadas (por ejemplo, pastos enmalezados, pastos limpios y plantación forestal), identificando fragmentos clave en ambos escenarios.

Con estos insumos, se procesó la información en el software CONEFOR, obteniendo matrices de conectividad en formato TXT. Adicionalmente, se empleó la herramienta Linkage Mapper Toolkit

y Circuitscape para identificar rutas de mínimo costo (LCPs), corredores, zonas de embudo, zonas barrera y pasos de fauna que favorezcan la movilidad de las especies.

### 2.3.3.2.2 Fauna

#### A. Fase previa

Para construir las listas de posibles especies de anfibios presentes en el área de influencia del Proyecto, se realizó una revisión de distintas fuentes de información entre los que se destacan el libro Biología de Anfibios y Reptiles en el Bosque Seco Tropical del Norte de Colombia <sup>124</sup> y bases de datos relacionadas a proyectos anteriores realizados en zonas aledañas al municipio de Mutatá <sup>125</sup>.

el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB)<sup>126</sup> como fuente principal, cuidando de filtrar por elevación los resultados ya que el proyecto comprende altitudes por debajo de los 200 msnm. Además, se buscaron estudios existentes en el área del proyecto y se consultó la página de la Red Nacional de Observadores de Aves (RNOA)<sup>127</sup>. Se logró obtener un listado de especies que hacen parte de Monitoreos de Fauna y Flora en áreas de rehabilitación de la Mina Calenturitas, 2020-2022. Esta mina está ubicada a 27 km del proyecto, por lo que la información es apropiada para conocer las posibles especies que se pueden registrar en la zona. La lista de especies obtenida fue revisada detalladamente para filtrar posibles errores de distribución. Los datos se filtraron incluyendo solo especies que hacen uso de condiciones vegetales similares. Se consideró el rango de distribución de las especies y el criterio de experto para determinar las posibles ocurrencias dentro de la zona.

Se realizó una lista de los posibles mamíferos que pueden encontrarse en el área de influencia del proyecto, con ayuda de la literatura como la base de datos en línea, como el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia-SiB, el cual contaba con los datos del Estudio de Biodiversidad Mina Calenturitas, Temporada de Lluvias. v1.1<sup>128</sup>, Además de la consulta de listados de mamíferos de Colombia<sup>129</sup> en publicaciones indexadas<sup>130</sup>. Para la determinación y trazabilidad taxonómica de los mamíferos terrestres registrados en el presente trabajo, se siguieron los criterios de sistemáticos y taxonómicos de "The Mammal Diversity Database"<sup>131</sup>.

#### *I. Fase de campo Aves*

Para la caracterización de aves se realizan recorridos en las coberturas, censos desde puntos fijos y capturas mediante redes de niebla. Cabe aclarar que, siempre que sea posible, cada especie registrada durante la caracterización se acompañó de un registro fotográfico tomado en campo.

<sup>124</sup> (Vargas-Salinas, Muñoz-Avila, & Morales-Puentes, 2019)

<sup>125</sup> (Espinosa, y otros, 2023)

<sup>126</sup> (SiB Colombia, 2024)

<sup>127</sup> (RNOA, 2024)

<sup>128</sup> (INERCO Consultoría Colombia, 2019)

<sup>129</sup> (Solari, y otros, 2013)

<sup>130</sup> (Ramírez-Chaves & Suárez-Castro, 2014)

<sup>131</sup> (Mammal Diversity Database, 2024)

*a. Censo desde puntos fijos y transectos*

La información en campo se adquirió entre el 13 y 21 de enero de 2024 durante la temporada climática seca. Por medio de un diseño de muestreo que abarca la mayor cantidad de área en la zona de interés para el proyecto, como lo sugiere el Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna<sup>132</sup>. Para la caracterización de la Avifauna se realizaron transectos libres por unidad de tiempo en dos (2) horarios, entre las 6:00 h y 9:00 h y 15:00 h y 18:00 h (pico de actividad de aves diurnas) entre el 13 de enero de 2024 y 21 de enero de 2024. Se realizaron un total de siete transectos: Pastos enmalezados (3), Pastos limpios (3) y Plantación forestal (1). Se registraron las Aves mediante observaciones visuales y acústicas en las tres coberturas del área de influencia del Proyecto "Construcción de La Variante Mutatá (UF4) de La Concesión Autopista Al Mar 2"

También se ubicaron puntos fijos distanciados entre si entre 20 metros. Los puntos se utilizaron para registrar mediante observaciones visuales y acústicas la Avifauna del área del proyecto, en un radio de 75 m con un intervalo de 15 minutos. Para los individuos registrados se identificó la especie y el número de individuos. Los puntos de muestreo fueron monitoreados en dos (2) horarios, entre las 6:00 h y 9:00 h y 15:00 h y 18:00 h (pico de actividad de aves diurnas) entre el 13 de enero de 2024 y 21 de enero de 2024.

*b. Captura en redes de niebla*

En cada cobertura vegetal se instalaron 3 redes de niebla. Las redes fueron ubicadas de acuerdo con los requerimientos del Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad<sup>133</sup>; formando paredes adyacentes en sitios estratégicos como orillas de cuerpos de agua o siguiendo filos de laderas. Las dimensiones de cada red fueron de 12 m de largo x 2.5 m de alto, con ojo de malla de 30 – 30 mm. Las redes de niebla se abrieron entre las 6:00 h y la 10:00 h en cada cobertura vegetal y en la tarde entre las 15:00 hr las 18:00 h, realizando las respectivas revisiones en intervalos de 15 minutos, dependiendo de las condiciones climáticas y de la actividad de las aves.

Las aves capturadas fueron depositadas en bolsas de tela en caso de tener muchos individuos para procesar. Una vez registrada su identidad taxonómica y obtenidos los respectivos registros fotográficos los individuos fueron liberados.

*II. Fase de campo mamíferos*

Para el estudio de los mamíferos en el área de influencia del proyecto se determinó un código a utilizar para denotar a cada uno de los registros, de la siguiente manera: MA\_PT\_PE\_01, donde MA hace referencia a mamíferos, PT hace referencia a punto de muestreo, que cambia a TR cuando se está refiriendo a transecto, 01 es el consecutivo de puntos por cada cobertura, y PE hace referencia a la cobertura analizada, en este caso, Pastos enmalezados.

Para la caracterización de mamíferos se siguió la propuesta metodológica de Sáenz-Bolaños, 2010<sup>134</sup>. Ésta contempla la evaluación de mamíferos pequeños y grandes tanto terrestres como voladores. En campo se realizan muestreos diurnos y nocturnos en cada cobertura vegetal, allí se emplearon transectos de observación directa e indirecta, redes de niebla, trampas Sherman y

<sup>132</sup> (VILLAREAL, Héctor. et al., 2006)

<sup>133</sup> (VILLAREAL, 2004)

<sup>134</sup> (Sáenz-Bolaños, 2010)

cámaras trampa. Cabe aclarar que, siempre que sea posible, cada especie registrada durante la caracterización fue acompañada de un registro fotográfico tomado en campo.

*a. Transectos de observación directa e indirecta de mamíferos*

Se realizaron transectos de ancho variable para la determinación de posibles avistamientos, registros auditivos, rastros, huellas, excretas, marcas o alguna otra evidencia de la presencia de mamíferos en la zona. Se realizaron tres transectos por cada cobertura que se recorrió en un tiempo de una hora en horas diurnas (8:30-9:30) y una hora en horario nocturno (19:00-20:00). Además, se tuvieron en cuenta también los registros que no estuvieron asociados a un transecto, pero fueron obtenidos de manera alterna a las otras metodologías. Cada punto donde se obtuvo un registro fue georreferenciado con ayuda de la aplicación AVENZA MAPS del celular.

Para la determinación de estos rastros, se consultaron guías de campo<sup>135</sup> especializadas de rastreo<sup>136</sup>. Además, se realizó la búsqueda directa en los diferentes estratos de la vegetación, donde pudiera estar presente algún individuo de los taxones presentes en el área. El esfuerzo de muestreo de observaciones directas e indirectas de mamíferos medianos no se reporta por tratarse de recorridos libres (*ad libitum*).

*b. Trampas Sherman*

Para el muestreo de los micromamíferos terrestres se empleó un total de 10 trampas de captura viva Sherman®, ubicadas en un transecto con una longitud indeterminada. Las trampas se dispusieron a una distancia aproximada de 10 m a 15 m, teniendo en cuenta el área de la cobertura y los estratos de la vegetación para su instalación, seleccionando sitios con evidencia o probabilidad de paso o refugio de pequeños mamíferos<sup>137</sup>.

Como cebo atrayente para las trampas se utilizó una mezcla de banano, avena, granola y esencia de vainilla preparada con anticipación diariamente, ya que es buen atrayente de olor<sup>138</sup>. Cada trampa se revisó al día siguiente en horas de la mañana para evidenciar posibles capturas y recebar nuevamente. En caso de tener capturas, se manipuló el individuo con ayuda de guantes de carnaza y bolsas de tela para posibilitar la toma de fotografías, identificarlo y liberarlo nuevamente.

Cada trampa estuvo marcada por una cinta flagging ubicada a unos pocos metros de la trampa para poder identificarla sin afectar en el éxito de captura de esta, y fueron georreferenciadas con ayuda de la aplicación AVENZA MAPS del celular.

El cebo empleado como atrayente fue elaborado a partir de miel de abejas, mantequilla de maní, avena en hojuelas y esencia de vainilla blanca. Las trampas se dejaron activadas desde las 17:00 hasta las 7:30 del día siguiente, las cuales eran recebadas todos los días. Este procedimiento se realizó por tres días en cada una de las seis coberturas evaluadas. En caso de captura se procedió al registro fotográfico y medidas morfométricas, para su posterior determinación

<sup>135</sup> ( Aranda-Sánchez , 2012)

<sup>136</sup> (Suárez-Castro & Ramírez-Chaves, 2014)

<sup>137</sup> (Maly & Cranford, 1985)

<sup>138</sup> (Mendoza & Sánchez, 2014)

taxonómica, hasta el mínimo taxon posible. Este procedimiento se realizó tres días por cobertura. El esfuerzo de muestreo se calculó como: el número de trampas\*el número de noches.

*c. Redes de niebla*

Se utilizaron redes de niebla para la captura de mamíferos voladores (murciélagos) en un horario entre las 17:30 y las 20:30 durante tres noches por cada cobertura, esto con el fin de cubrir la mayor cantidad de especies posibles teniendo en cuenta los patrones de actividad, donde muchos murciélagos insectívoros comienzan su actividad antes del anochecer y cubriendo los mayores picos entre las 18:00 y las 19:00 horas<sup>139 140</sup>. Las redes utilizadas tenían una longitud de 12 metros de largo por 3 metros de alto y fueron colocadas de manera independiente o en tándem (juntas) si el terreno lo permitía.

Las redes se revisaron cada 20 o 30 minutos según la actividad de los murciélagos, y en caso de capturas, se manipularon a los individuos con guantes de carnaza y se desplazaron en bolsas de tela hasta el punto destinado para la identificación y fotografía, ubicado cerca de las redes, pero manteniendo una distancia prudente para no afectar el éxito de captura<sup>141</sup>. Los individuos fueron identificados utilizando la clave para la identificación de murciélagos de Sudamérica<sup>142</sup> y la clave para la identificación de murciélagos del neotrópico<sup>143</sup>, reduciendo lo más posible el tiempo de manipulación y el posible estrés generado.

Cada punto de red fue georreferenciado con la aplicación AVENZA MAPS del celular, y los individuos capturados en cada red fueron asociados a ese único punto de captura.

*III. Fase de campo Herpetos*

*a. Transectos de observación*

Para la caracterización del componente de anfibios y reptiles presentes en el área de influencia (AI) del Proyecto Modificación de la Licencia Ambiental "Construcción de la Variante Mutatá (UF4)" del proyecto Mar 2 – Antioquia, se realizaron transectos libres por unidad de tiempo en dos (2) intervalos del día que incluían horario diurno y nocturno, durante nueve (9) días consecutivos. Se realizaron un total de nueve (9) transectos distribuidos en las tres (3) coberturas dentro del área de influencia, tres (3) transectos por cobertura. Cada transecto disponía de tres horas en el día para la búsqueda de saurios y otros reptiles diurnos, y tres en la noche para la búsqueda de anfibios y otros reptiles nocturnos. En cada transecto se implementó la técnica de Relevamiento por Encuentros Visuales (VES por sus siglas en inglés<sup>144</sup>), Esta metodología consiste en la búsqueda de individuos haciendo observación directa en los posibles microhábitats donde se puedan encontrar las especies (ej. rocas, hojarasca, troncos, arroyos, entre otros). Al mismo tiempo, se implementó el método de Registro por Encuentros Acústicos (conocido

<sup>139</sup> (Brown, 1968)

<sup>140</sup> (Presley, Willing, Castro-Arellano, & Weaver, 2009)

<sup>141</sup> (Simmons & Voss, 1998)

<sup>142</sup> (Díaz, Solari, Aguirre, S. Aguiar, & Barquez, 2016)

<sup>143</sup> (Díaz, Solari, Gregorin, Aguirre, & Barquez, 2021)

<sup>144</sup> (Crump & Scott Jr., 1994)

comúnmente como Transectos de banda auditiva) el cual se basa en la detección de especies de anuros por medio de las vocalizaciones emitidas por machos<sup>145</sup>.

#### IV. Fase de análisis

A partir de la información recolectada en campo, cada especie registrada se agrupó por orden filogenético a nivel de orden, familia y especie. Adicionalmente, se reportó si el registro del individuo fue realizado mediante observación, de forma auditiva, mediante captura, indicio o por entrevista a la comunidad del sitio de muestreo. También para cada especie, se especificaron datos sobre su distribución altitudinal y geográfica, hábitat, migración, uso y rareza. Además, se establecieron las especies endémicas, se corroboró si las especies registradas y potenciales se encuentran en alguna categoría de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), si están incluidas en algún apéndice de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) o si se encuentran en categoría de amenaza para Colombia de acuerdo a la información presentada en la resolución 0126 de 2024 del MADS.

#### V. Análisis estadístico

Para En el análisis de datos se utilizaron paquetes estadísticos Past<sup>146</sup>, EstimateS 9.1.0<sup>147</sup> 148 y hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para evaluar la representatividad de las muestras, se empleó la curva de acumulación de especies, que ilustra el número total de especies identificadas en relación con el esfuerzo de muestreo aplicado. Esta curva muestra gráficamente cómo incrementa el número de especies conforme se realizan más muestreos. Para determinar la eficacia de estos muestreos, se utilizaron estimadores como Chao 1, Jackknife 1 y Bootstrap. Para abordar la diversidad alfa, se aplicaron los índices de Shannon, Simpson y Margalef, además de medir los índices de dominancia y equitatividad. Para evaluar la diversidad beta, se utilizó el índice de Jaccard, el cual relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas, considerando solo presencia - ausencia de las especies<sup>149</sup>.

### 2.3.3.2.3 Ecosistemas acuáticos

#### A. Aguas continentales

##### I. Perifiton

Toma de muestra en cuerpo lótico y léntico. Análisis cuantitativo y cualitativo. Colección de muestras - Identificación y Conteo; SM 10300 B, C. Cambra, J., Ector, L., Sabater, S. (2005). Protocolos de Muestreo y Análisis para Fitobentos. En: Metodología para el establecimiento del estado Ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Roldan. Gabriel, Ramírez. Jhon Jairo. (2008). Fundamentos de Limnología Tropical. Universidad de Antioquía. Colombia. Segunda edición. Pág. 289.

<sup>145</sup> (Rueda-Almonacid, Lynch, & Amézquita, 2004)

<sup>146</sup> (Øyvind Hammer, 2001)

<sup>147</sup> (Colwell, 2013)

<sup>148</sup> (Chao, 2016)

<sup>149</sup> (Villareal, y otros, 2004)

## II. Peces

Toma de muestra en cuerpo lóxico y léxico. Análisis cuantitativo y cualitativo. Adquisición de Datos - Preservación de Muestras - Análisis de Colecciones.<sup>150</sup> .

## III. Macroinvertebrados Bentónicos

Toma de muestra en cuerpo lóxico y léxico. Análisis cuantitativo y cualitativo. Colección de Muestras - Procesamiento de la muestra, Identificación y Conteo<sup>151 152</sup> .

### B. Protocolo de muestreo matriz biota

#### I. Macroinvertebrados Bentónicos

La toma de muestras cuantitativas en cuerpos lóxicos se lleva a cabo mediante la utilización de red para muestreo tipo Surber con unas medidas de 900 cm<sup>2</sup> el área requerida por nuestro laboratorio para la toma de muestras por punto es de 0,9 m<sup>2</sup> por lo cual son necesarias 10 réplicas por punto. Las muestras se pasan a bolsas Ziploc a las cuales se les adiciona alcohol al 96% para la preservación de las especies. Cada muestra es debidamente rotulada para su posterior envío al laboratorio. Las muestras cualitativas se realizan mediante la utilización de una red tipo D en un transecto de 100 m se realizan barridos con el pie o con la mano en los diferentes sustratos con el fin de coleccionar la mayor cantidad de organismos posibles, el contenido se pasa a una bolsa Ziploc y se procede de la forma anteriormente expuesta.

#### II. Perifiton

El muestreo cuantitativo se lleva a cabo utilizando un cepillo dental de cerdas suaves y un cuadrante con área de 9 cm, para la obtención de las muestras se realizan raspados a los diferentes tipos de sustratos, enjuagando el cepillo en un recipiente opaco o ámbar de 250 ml el cual contiene 125 ml de agua desionizada, este proceso se repite 10 veces por punto, con el objetivo de obtener un área total muestreada de 90 cm<sup>2</sup>, las muestras se preservan con solución transeau y para transportarlas al laboratorio. Para las muestras cualitativas simplemente se omite el uso del cuadrante realizándose raspados sin una unidad de área, el resto del proceso es el mismo que se realiza para las muestras cuantitativas.

#### III. Peces

Para cuerpos de agua lóxicos se utilizan principalmente dos tipos de metodologías, dependiendo de las características del río o quebrada. Estas metodologías son: atarraya y red de electropesca. Para la toma de muestras con atarraya se tiene en cuenta un transecto de 100 m para el cual se debe realizar un esfuerzo de muestreo de aproximadamente una hora que equivale a un número de lances efectivos entre 25 y 30. En cuanto a la colecta de peces con electropesca, se debe ejecutar en un transecto de 100 m, realizándose un desplazamiento de aguas abajo hacia aguas arriba. Las especies coleccionadas son identificadas in situ y luego son liberadas en el lugar más próximo al lugar de su colecta.

<sup>150</sup> (SM 10600 B, C, D. Roldan, Gabriel, Ramírez. Jhon J, 2008)

<sup>151</sup> (SM 10500 B, C. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder)

<sup>152</sup> (B. D., Stribling, J.B., 1999)

### C. Protocolo de muestreo fuentes superficiales

Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

#### *I. Metodología de aforo Trazadores*

Cuando las condiciones geomorfológicas de un río no son las adecuadas para la ejecución de aforo con los equipos (ADCP-CORRENTOMETRO), ya sea por su bajo caudal que no permite la medición o se presentan fuentes superficiales de alta pendiente con alto grado de irregularidad geométrica y flujo no uniforme se hace indispensable implementar otras alternativas para la medición de caudal, es cuando se recurre a un método poco tradicional y se realiza por medio de trazadores.

##### *i. Recolección de datos*

En este punto ya las comisiones deben estar totalmente organizadas de manera que aguas arriba se encuentre lista la inyección para ser vertida en el agua y para aguas abajo se debe estar totalmente organizado el conductímetro (calibrado) en su sitio listo para tomar datos junto con el reloj y la cámara en función de video.

Optar para que el reloj este plenamente situado donde podamos ver los datos de la pantalla del conductímetro y el reloj, mientras se graba el video de apoyo de para la evidencia de datos. Es necesario que la grabación incluya el registro de la conductividad base de la fuente.

El aforo se realizó según los lineamientos estipulados en el formato “PGM-009 V02 – LINEAMIENTOS PARA LA EJECUCIÓN DE AFOROS EN AGUAS”.

#### *II. Metodología de toma de muestra simple*

Metodología empleada en la toma de muestra realizada:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de la AWWA SM 10600 B.
- Guía Técnica Colombiana GTC 82 “Guía de buenas prácticas para laboratorios que realizan muestreo y análisis de agua”
- Guía Técnica Colombiana GTC 88 “Guía para el informe de resultados de los análisis de aguas”
- Guía Técnica Colombiana GTC 100 “Guía para los procedimientos de cadena de custodia de muestras”
- Guía Técnica Colombiana GTC 109 “Guía para la planificación de la calidad e implementación de un programa de medición en campo de la calidad del agua”
- Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 5667-1 “Directrices para el diseño de programas de muestreo”
- Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 5667-2 “Técnicas generales de muestreo”
- Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 5667-3 “Directrices para la preservación y manejo de las muestras”.
- Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 5667- 6 “Guía para muestreo de aguas de ríos y corrientes”

La muestra simple es la muestra tomada en un lugar representativo, en un determinado momento. Estas muestras se tomaron directamente de la fuente, acomodando el cuerpo en sentido contrario de la corriente y sumergiendo un recipiente de una capacidad de volumen tal, que se recolecte en una sola sumersión el volumen necesario para el llenado de los recipientes, de acuerdo con lo estipulado en el formato "FGM 006 PLAN Y REMISIÓN DE MUESTRAS"; algunos parámetros fueron tomados directamente de la fuente, debido a lo estipulado en las NTC aplicables y el Standard Methods. Los analitos de cada muestra fueron preservados según lo expuesto en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" de la AWWA 23rd Edition.

De acuerdo con lo estipulado en el procedimiento "PGM-006 LINEAMIENTOS PARA TOMA DE MUESTRAS Y MONITOREO DE AGUAS" del Sistema de Gestión de Calidad de Hidro Química Laboratorio Ambiental S.A.S.

La incertidumbre expandida asociada al proceso de muestreo corresponde al 9,4% con un K=2. Esta contribución hace parte de la incertidumbre expandida estimada para cada una de las metodologías analíticas implementadas en el laboratorio de HidroQuímica Laboratorio Ambiental S.A.S., bajo los lineamientos establecidos en el documento FCC-008 INFORME DE VALIDACIÓN DE MUESTREO.

#### 2.3.3.2.4 Ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas

Para el análisis de superposición del proyecto con respecto a ecosistemas estratégicos y/o áreas protegidas, se realizó la consulta en diversos portales de información actualizados y avalados para este tipo de estudios, tales como el Sistema de Información Ambiental de Colombia, por sus siglas SIAC, el cual contiene información vinculante con entidades tales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los Institutos de Investigación Ambiental: el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), el Sistema de Parques Nacionales y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

La plataforma del SIAC, se considera un sistema confiable de información, dado que este es un órgano asesor del ministerio encargado de proponer políticas y lineamientos estratégicos para la gestión de la información ambiental oficial del país, el cual fue instituido mediante la Resolución 1484 del 31 de octubre del 2013.

#### **2.3.3.3 Caracterización socioeconómica**

El presente apartado detalla los procedimientos metodológicos específicos del componente socioeconómico del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el proyecto vial de la modificación de licencia de Variante Mutatá incluyendo las estrategias encaminadas al relacionamiento con los grupos de interés del área de influencia para socializar el proyecto, y los métodos empleados para la recolección y análisis de información primaria y secundaria.

Respecto a los lineamientos de participación y socialización con las comunidades y los otros aspectos que contempla el desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental, se busca el cumplimiento de los objetivos y alcances definidos en la Guía de Participación Ciudadana para el

Licenciamiento Ambiental de 2018, la Resolución 1402 de 2018 por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios (ANLA) y los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles TdR-0751 de 2015. Por tanto, para construir la metodología para la participación y socialización con las comunidades y la metodología para la caracterización del área de estudio (proceso de recolección, procesamiento y análisis de la información primaria y secundaria), se acatan los mencionados lineamientos.

#### 2.3.3.3.1 Lineamientos conceptuales

La metodología que se utilizó para obtener y procesar la información del medio socioeconómico es la del enfoque mixto de investigación, que consistió en la integración de los métodos cualitativos y cuantitativos; para la revisión y posterior interpretación de la información encontrada en las fuentes secundarias utilizadas para hacer la descripción del contexto de los actores sociales y poblaciones asentadas en la unidad territorial que hace parte del área de estudio del EIA.

Adicional a lo anterior, se ejecutó un proceso de Participación y Socialización con las comunidades llevando a cabo reuniones informativas; de esta manera, se buscó garantizar y reconocer el derecho a la participación que tienen las administraciones municipales, las comunidades del al área de influencia del proyecto; llevando una información de manera clara, veraz y oportuna sobre los estudios que se llevaron a cabo y que inciden sobre sus dinámicas socioeconómicas. Esto permitiendo que los participantes en las reuniones expresaran su opinión y manifestaran inquietudes y preguntas sobre el proyecto.

#### 2.3.3.3.2 Proceso de recolección de información

Como se menciona en el capítulo 4, referido a las áreas de influencia, el municipio de Mutatá presenta una particularidad: lo que cartográficamente está delimitado como la vereda Mutatá, en realidad, no es reconocido socialmente como tal por la comunidad. Según líderes barriales y la Alcaldía Municipal, esta área corresponde en su totalidad al centro urbano del municipio. No se identifica una vereda denominada Mutatá, y se aclaró que barrios como El Regalo (un asentamiento subnormal), El Ortiz y las viviendas dispersas a la entrada del municipio, sobre la vía Medellín-Mutatá, pertenecen al casco urbano.

La Alcaldía explicó que la falta de actualización del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) durante años, ha generado una delimitación poco clara entre las zonas urbanas y rurales, dando lugar a áreas formalmente urbanas que han evolucionado hacia características más rurales. Entre los barrios más antiguos, como El Obrero, La Ladilla y La Paz, y los más recientes, como Nuevo Horizonte y Ciudadela El Regalo, se evidencia una notable diversidad en los procesos de formación y desarrollo. (Ver Anexos\_C5\_3/5\_3\_1\_Actas\_Desarrollo).

Además, la Alcaldía Municipal manifestó que no dispone de información detallada en términos demográficos, espaciales y económicos, más allá de lo recopilado en el Esquema de Ordenamiento Territorial. Como resultado, la información a nivel de barrios fue limitada. Adicionalmente, se elaboró una ficha por localidad con la participación de los líderes de los diferentes barrios, donde se identificó que la comunidad no contaba con datos precisos o cercanos en aspectos demográficos, económicos y espaciales.

Por lo tanto, la caracterización del área de influencia del proyecto se llevó a cabo mediante la revisión de fuentes documentales. Además, se aplicó una ficha por localidad para complementar la información recopilada.

**Tabla 2.72 Principales fuentes de información del medio socioeconómico. Revisión documental y en fuentes secundarias**

Medio	Componente	Fuente principal
Socioeconómico	Demográfico	DANE, Ministerio de Agricultura;
	Espacial	Ministerio del Interior, SIGOT, IGAC, Plan Básico de Ordenamiento Territorial d Plan de Desarrollo Territorial del municipio, estudios previos de caracterización y línea base
	Económico	DNP, DANE, URT, Red Nacional de Información de la Unidad de Víctimas, PBOT
	Político organizativo	DANE, Ministerio de Agricultura; Ministerio del Interior, SIGOT, IGAC, Plan Básico de Ordenamiento Territorial d Plan de Desarrollo Territorial del municipio, estudios previos de caracterización y línea base
	Cultural	Ministerio de Cultura, ICANH
	Arqueológico	DANE, estudios previos de caracterización en el área de influencia.
	Tendencias de desarrollo	

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.3.3.3 Proceso de participación y socialización con las comunidades

El espacio de socialización estuvo conformado por dos (2) espacios de socialización:

- I. En este primer espacio de socialización para la modificación de la licencia ambiental del proyecto Variante Mutatá, se llevaron a cabo dos (2) actividades principales. En la primera parte, se presentó el alcance del estudio en desarrollo, que tiene como objetivo definir acciones para reducir, prevenir o mitigar los posibles impactos en los medios abiótico, biótico y socioeconómico. En la segunda parte, se realizó un taller sobre impactos y servicios ecosistémicos, orientado a identificar con las comunidades y actores involucrados los posibles impactos y medidas de manejo que se puedan dar en el proyecto.
- II. Este tercer momento se llevó a cabo con el objetivo de presentar de manera detallada la metodología utilizada, los resultados, las posibles afectaciones y las estrategias de mitigación, compensación y seguimiento propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Durante este espacio, también se brindó la oportunidad para que la autoridad local formulara observaciones, planteara inquietudes y sugiriera ajustes que contribuyan a optimizar la gestión ambiental del proyecto.

Para garantizar un proceso efectivo de socialización y participación con los diversos actores, y en cumplimiento con lo estipulado en la Metodología de Impactos Ambientales 2018, se realizó un sondeo previo de los actores en el territorio y sus respectivos contactos. Una vez obtenidos

estos contactos, se procedió a acercarse telefónicamente con los líderes de barrios, comerciantes, presidente del concejo y secretarios de gobierno con el fin de agendar un espacio de socialización en el día y la hora más pertinentes para los involucrados.

Una vez estipulados el día y la hora, se implementaron varias estrategias de difusión: entrega de oficios físicos, emisión de cuñas radiales y publicación de afiches informativos en las redes sociales de la concesionaria Mar 2, con el objetivo de asegurar una amplia divulgación de la información. En la Tabla 2.73 se relaciona las herramientas que permitieron convocar e informar de manera clara y oportuna a los interesados.

**Tabla 2.73 Herramientas de convocatoria e información**  
**HERRAMIENTAS DE CONVOCATORIA E INFORMACIÓN**

Herramienta	Anexos
Oficios de convocatoria	5 3 4 Conv
Cuñas radiales	5 3 5 Cuña
Volantes	5 3 6 Volante

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025

**Tabla 2.74 Metodología del taller de impactos**

Aspecto	Descripción
<b>Contexto del Taller</b>	Se presentaron los impactos y actividades previamente identificados por el equipo técnico para dar contexto a la comunidad sobre el ejercicio a realizar.
<b>Participación Comunitaria</b>	La comunidad identificó y diligenció si los impactos mencionados eran positivos o negativos, asignándoles una valoración por colores.
<b>Valoración de Impactos</b>	- <b>Verde:</b> Impacto Irrelevante
	- <b>Amarillo:</b> Impacto Moderado
	- <b>Naranja:</b> Impacto Severo
	- <b>Rojo:</b> Impacto Crítico
<b>Metodología</b>	Se realizó la identificación de impactos y medidas de manejo visualizadas como de posible ocurrencia en el territorio.
<b>Formato de Registro</b>	La matriz se imprimió en tamaño pliego (una por vereda/sector). La información recolectada en campo fue digitalizada y anexada al estudio, incluyendo la fotografía de la matriz realizada en campo y su versión digitalizada.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S, 2025.

Los dos momentos anteriormente planteados fueron desarrollados con las unidades territoriales menores, la Alcaldía de Mutatá, mientras que, para Gobernación del Antioquia y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - Corpouraba, se desarrolló un momento informativo de socialización de resultados del EIA.

En las unidades territoriales menores se convocó a través de los líderes comunitarios con capacidad para convocar, considerando que se identificó que no existen Juntas de Acción Comunal (JAC); en el caso de las administraciones municipales y diversos actores sociales se hizo a través de los respectivos funcionarios.

Previo a las reuniones, se estableció con cada grupo de interés día, hora y lugar más adecuado para realizar los encuentros, buscando de esta manera la mayor participación de los miembros de la comunidad y funcionarios de las entidades.

La planificación de las reuniones informativas se realizó como mínimo con 10 días de anticipación a la ejecución de estas. La convocatoria a estos espacios se hizo de manera telefónica a los líderes de la zona con capacidad para convocar la comunidad del área de influencia, y por correo electrónico con las autoridades locales, la autoridad ambiental regional (CAR) y la autoridad departamental (gobernación). Convocatoria que se formalizó con el envío del oficio de solicitud de la reunión por medios digitales como correo o WhatsApp, o firma de recibido el día en que se realizó la reunión.

Las acciones necesarias para la planeación y ejecución de las reuniones informativas se desarrollaron por parte del equipo de profesionales a cargo de la elaboración del estudio, en coordinación de la concesionaria Autopistas Urabá S.A.S. Los encuentros se realizaron con apoyo de recursos pedagógicos y didácticos como medios audiovisuales y recursos tecnológicos. En estos espacios se siguió de manera general la siguiente agenda:

- 1 Presentación de la agenda de reunión
- 2 Consentimiento previo, se solicita los asistentes permiso para hacer los registros fílmico y fotográfico, para elaborar un acta del encuentro y obtener el listado de asistencia; en este momento se explica con detenimiento la finalidad de dichos procedimientos.
- 3 Presentación del objetivo de la reunión
- 4 Presentación de los asistentes: equipo técnico, miembros de la comunidad, y representantes de autoridades locales, ambiental regional y departamental.
- 5 Presentación del proyecto. En este ítem dependiendo del propósito de la reunión se abordaron las siguientes temáticas:
  - Presentación inicial del proyecto: características técnicas, actividades y alcance de la solicitud de licencia del proyecto.
  - Cuando se desarrollaron estos encuentros en las veredas del área de influencia, también se propició un espacio de participación a la comunidad, a través del desarrollo de un taller de identificación de impactos, así como, la identificación de servicios ecosistémicos.
  - Presentación final del proyecto: se socializaron los resultados del Estudio de Impacto Ambiental, informando a la comunidad sobre las actividades contempladas por el proyecto vial, y las etapas en que se desarrollará; el área de influencia delimitada para el trámite, la caracterización ambiental, zonificación ambiental y de manejo; los impactos y medidas de manejo, compensación por pérdida de biodiversidad, permisos requeridos para uso y aprovechamiento de recursos naturales, y el plan de gestión de riesgo. En este espacio también se brindó la oportunidad para que los participantes expresen aquellos impactos y medidas de manejo que consideren deben complementar la evaluación del estudio de impacto ambiental y el plan de manejo, siempre que sea pertinente.
  - Las temáticas abordadas se presentaron con apoyo de una presentación en Power Point, con recursos audiovisuales, de tal manera que se facilitara a los interesados conocer aspectos relevantes del proyecto vial.
- 6 Preguntas e inquietudes.
- 7 Lectura y validación del acta

- 8 Firma del acta
- 9 Refrigerio
- 10 Despedida y agradecimientos.

### 2.3.4 Servicios ecosistémicos

A continuación, se describe la metodología utilizada para la identificación y valoración de los Servicios ecosistémicos, la cual se basa en lo establecido tanto en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de Carreteras y/o Túneles<sup>153</sup> - TdR- M-M-INA-02 (Resolución 0751 de 2015), como en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales<sup>154</sup>.

Es importante tener en cuenta que, de acuerdo con los talleres de cartografía social realizados, en particular con la comunidad de la vereda Aguas Claras, esta no se tuvo en cuenta para los análisis de los servicios ecosistémicos debido a que, durante el desarrollo de las actividades manifestaron lo siguiente:

*“La comunidad destaca que su ubicación está considerablemente distante de las áreas de influencia que se están mostrando, e incluso en el mapa proporcionado, que se encuentra limitado al área de influencia, no refleja con precisión su posición, ya que ellos se encuentran en una elevación mayor.*

*Es importante mencionar que el impacto directo se observa en una finca privada que, según la cartografía distribuida, pertenece a la vereda, pero está significativamente distante. La comunidad indica que el tramo que les concierne corresponde a la Unidad Funcional 5, la cual ya está construida.”*

#### 2.3.4.1 Definición de la unidad de análisis – UMA

De acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, se definió como unidad mínima de análisis el área biótica, donde con la ayuda de las comunidades presentes se llevó a cabo el ejercicio de identificación de los beneficios que los ecosistemas brindan a la población, teniendo en cuenta que algunos de estos pueden verse alterados por la implementación de las obras proyectadas. Así mismo, en esta área se manifestarían los impactos más significativos generados por el desarrollo del proyecto y que podría generar afectación a los servicios ecosistémicos identificados.

#### 2.3.4.2 Identificación y valoración de la dependencia de las comunidades a los servicios ecosistémicos

Para la identificación y valoración de la dependencia de las comunidades a los servicios ecosistémicos, se realizó un proceso participativo con estas, el cual consistió en la socialización de las generalidades del proyecto vial, así como las características de la modificación de la licencia ambiental. De esta manera, se llevó a cabo en conjunto el Taller de Servicios Ecosistémicos – SSEE.

---

<sup>153</sup> (MADS;ANLA, 2015)

<sup>154</sup> (MADS;ANLA, 2018)

#### 2.3.4.2.1 Taller de identificación y valoración de SSEE

Se realizó un taller participativo en el cual se desarrollaron los conceptos básicos sobre biodiversidad, ecosistemas y servicios ecosistémicos, con el objetivo de generar el contexto básico para realizar la actualización y validación de la información sobre servicios identificados y valorados en las socializaciones y talleres ejecutados en el Estudio de Impacto Ambiental aprobado mediante la Resolución 01752 del 04 de septiembre de 2019, en las correspondientes unidades territoriales. La herramienta utilizada para el levantamiento de información fue una matriz de identificación y evaluación.

A continuación, se presentan los objetivos del taller de actualización y verificación de servicios ecosistémicos, así como la metodología llevada a cabo para el desarrollo de la actividad, la explicación de cada herramienta utilizada y los resultados obtenidos.

##### A. Objetivos del taller

- Verificar los servicios ambientales que brindan los ecosistemas existentes en el área de influencia de la modificación de licencia, es decir, validar si continúan vigentes los que fueron identificados anteriormente, o si se identifican servicios adicionales.
- Categorizar los servicios ecosistémicos validados y actualizados en las siguientes categorías: aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales.
- Determinar la importancia o dependencia de los servicios ecosistémicos por parte de las comunidades locales.

##### B. Metodología del taller

En primer lugar, se dio una explicación breve del concepto de ecosistema, así mismo se identificaron sus componentes y lo que significan los servicios ecosistémicos. Se reflexionó sobre la importancia de los ecosistemas en el área que habitan las comunidades y cómo se presentarán las diferentes categorías de los servicios ecosistémicos (aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales), para facilitar el entendimiento y la identificación de estos por parte de la comunidad, se presentaron algunos ejemplos y conceptos complementarios.

##### *1. Identificación y dependencia de la comunidad a los servicios ecosistémicos*

Con la presentación de los ejemplos, se procedió a identificar con la comunidad los diferentes servicios ecosistémicos, los cuales se compilaron en el formato de la matriz de identificación (ver Tabla 2.76 y Anexos\_C5\_4/1\_SSEE\_Taller\_1.pdf, 1\_SSEE\_Taller\_2).

Con la identificación y categorización realizada, se procede en conjunto con la comunidad a determinar la importancia de los servicios ecosistémicos, abordando el criterio de importancia como la dependencia de las comunidades a estos servicios ecosistémicos, de la siguiente manera:

- **Dependencia Alta:** la subsistencia de la comunidad depende directamente del servicio ecosistémico.
- **Dependencia Media:** la comunidad se beneficia del servicio ecosistémico, pero su subsistencia no depende del mismo.

- **Dependencia Baja:** la comunidad se beneficia del servicio ecosistémico, la subsistencia no depende del mismo y además existen múltiples alternativas para el aprovechamiento de este servicio.

Para hacer posible la cuantificación de la dependencia, se agregó un valor numérico a cada categoría como se muestra en la Tabla 2.75:

**Tabla 2.75 Rangos de dependencia para la unidad de análisis**

Rango	Dependencia
0 – 1	Baja
1,1 – 2	Media
2,1 – 3	Alta

Fuente: Alternativa Ambiental, 2025.

Los resultados finales (casilla valor final de la Tabla 2.76) se obtienen a través de un promedio del valor de la dependencia, en cada uno de los servicios ecosistémicos en todas las unidades territoriales identificadas que conforman la unidad de análisis, este promedio se ubica en los rangos establecidos en la Tabla 2.75 y así se obtiene la dependencia final para toda el área.

Finalmente, se llevó a cabo un trabajo participativo con los asistentes, en donde se realizó la valoración de cada uno de los servicios ecosistémicos identificados.

Se explicó cada uno de los servicios ecosistémicos y se preguntó a los asistentes al taller, “¿cuál era el nivel de dependencia que le asignarían?”, se contabilizaron las respuestas y se compilaron en el siguiente formato (ver Tabla 2.76).

**Tabla 2.76 Matriz de identificación y categorización de la dependencia de los SSEE**

Tipo de Servicio Ecosistémico	Servicio Ecosistémico	Número de respuestas/Dependencia			
		Alta	Media	Baja	Valor final
Aprovisionamiento	Agua				
	Extracción arena, roca				
	Madera				
	Fibras, resinas				
	Biomasa (leña)				
	Carne, pieles				
	Productos forestales no maderables				
	Pesca y/o acuicultura (recursos pesqueros)				
	Plantas medicinales				
	Ganadería				
	Agricultura				
Regulación	Control erosión				
	Regulación del clima				
	Control biológico				
	Depuración del agua				
	Polinización				
	Purificación de aire				
Regulación hídrica					

Tipo de Servicio Ecosistémico	Servicio Ecosistémico	Número de respuestas/Dependencia			
		Alta	Media	Baja	Valor final
	Regulación de riesgos naturales				
Soporte	Ciclaje de nutrientes				
	Amortiguación de perturbaciones				
	Captura de carbono				
	Fertilidad del suelo				
	Formación de suelo				
	Hábitat para especies				
	Producción primaria				
Culturales	Recreación y turismo				
	Espirituales y religiosos				

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Posteriormente, para dar una calificación a la dependencia, en la casilla de valor final de la Tabla 2.76, se ingresó el equivalente numérico con el que la mayoría de los participantes se sintieron identificados y/o el más representativo para ellos en función de sus vivencias en la unidad de análisis. En caso de que los niveles presentaran el mismo número de participantes, se eligió el de mayor dependencia.

#### 2.3.4.2.2 Encuesta de servicios ecosistémicos

Como refuerzo al taller desarrollado para la identificación y valoración de los servicios ecosistémicos, se llevó a cabo una encuesta en la que se preguntó directamente a algunos de los habitantes de las comunidades de la unidad de análisis, sobre su conocimiento y relación con los servicios ecosistémicos presentes en su entorno. Este ejercicio se realizó principalmente con los representantes de cada comunidad y un número reducido de habitantes seleccionados por ellos. Las encuestas diligenciadas se encuentran integradas en Anexos\_C5/4.

Con el desarrollo de las encuestas, se realizó el conteo de servicios que fueron identificados por el total de participantes, determinando la dependencia según la frecuencia de utilización e importancia de estos, es decir, a mayor frecuencia e importancia, mayor dependencia, en el sentido contrario la dependencia sería menor.

#### 2.3.4.3 Análisis de escala espacial y temporal

Para el análisis espacial y temporal de los servicios ecosistémicos se emplearon imágenes satelitales de Google Earth y una ortofotografía reciente para periodos de tiempo que permitieran visualizar los cambios generales sobre las coberturas del área de influencia biótica. Por tanto, se tomaron como referencia los años 2017, 2019, 2022 y 2024.

#### 2.3.4.4 Determinación del estado de los Servicios ecosistémicos

La determinación del estado de los servicios ecosistémicos, en relación con el área de la unidad de análisis, consistió en el establecimiento de valores de categorización en donde se evalúa el estado de conservación, de conformidad a las características de los ecosistemas, las coberturas

y su grado de intervención o alteración, ya que los servicios prestados pueden variar en función de dichos atributos. En este sentido, se definen tres (3) categorías de análisis, tal y como se presenta en la Tabla 2.77.

**Tabla 2.77. Estado de conservación de acuerdo con el grado de intervención**

Categoría	Valor	Estado de conservación
Alta	1	Conservado
Media	2	Medianamente conservado
Baja	3	Altamente intervenido

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

#### 2.3.4.5 Dependencia del proyecto a los servicios ecosistémicos

Para el análisis del grado de dependencia del proyecto con los servicios ecosistémicos identificados en el área de interés se tienen en cuenta los siguientes criterios establecidos en la Tabla 2.78.

**Tabla 2.78 Criterios para definir el grado de dependencia del proyecto a los SSEE**

Grado dependencia	Valor	Descripción
Alta	3	Las actividades que hacen parte integral y central del proyecto requieren directamente del servicio ecosistémico.
Media	2	Algunas actividades secundarias asociadas al proyecto dependen directamente del servicio ecosistémico, pero podría ser reemplazado por un insumo alternativo.
Baja	1	Las actividades principales o secundarias no dependen directamente del servicio ecosistémico.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025

Esta dependencia se establece a partir de la demanda, uso y aprovechamiento de recursos naturales que requiere el proyecto "Construcción de La Variante Mutatá (UF4) de La Concesión Autopista Al Mar 2", y la relación existente con los servicios ecosistémicos.

#### 2.3.4.6 Tendencia de los servicios ecosistémicos

La tendencia de los servicios ecosistémicos se analizó teniendo en cuenta la proyección de su comportamiento en el tiempo, la cual fue considerada a partir de los resultados de la caracterización, la participación de las comunidades en los talleres y la tendencia de los impactos sobre los componentes relacionados en el Capítulo 8. Evaluación de Impactos, los cuales, tendría un efecto contrario en el servicio ecosistémico, es decir, que a medida que el impacto incrementa, el servicio ecosistémico disminuye o decrece, dado que se ve alterado el ecosistema que lo provee. En este sentido, la tendencia se define a partir de los criterios establecidos en la Tabla 2.79.

**Tabla 2.79 Criterios para definir la tendencia de los servicios ecosistémicos**

Tendencia	Valor	Descripción
Creciente (C)	1	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico es ascendente.

Tendencia	Valor	Descripción
Estable (E)	2	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico se mantiene en el nivel registrado actualmente.
Decreciente (D)	3	La proyección del comportamiento del estado del servicio ecosistémico es descendente.

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.4.7 Impacto del proyecto sobre los servicios ecosistémicos

La identificación de los impactos y su valoración cualitativa sobre los servicios ecosistémicos se determina acorde con los resultados de la Evaluación Ambiental en el escenario con proyecto del capítulo 8 del presente EIA, a partir de la cual se seleccionan los impactos para hacer el respectivo análisis relacionado con los servicios ecosistémicos.

Posteriormente, se establece una relación entre los servicios ecosistémicos y los componentes de cada medio analizado en la evaluación de impactos, relacionando al tiempo los impactos que interaccionan con los servicios y el ámbito de manifestación (este permite determinar si se presenta dentro o fuera de la unidad de análisis), teniendo en cuenta que los impactos se miden en función del grado de afectación que tendrían las actividades del proyecto sobre los componentes de cada medio, estableciendo una jerarquía con la que se les clasifica como irrelevantes, moderados, severos o críticos. Según la calificación de dichos impactos y el número de ellos que interaccionen con cada servicio ecosistémico, teniendo en cuenta también el estado y ubicación del servicio, se definió el grado de impacto del proyecto, de ahí que, las interacciones con impactos Irrelevantes y estado de SSEE Conservado generan un grado de impacto Bajo sobre el servicio ecosistémico, los Moderados y estado de SSEE Medianamente conservado un grado de impacto medio y los severos o críticos, más y estado de SSEE Altamente intervenido, generarían un grado de impacto alto (ver Tabla 2.80).

**Tabla 2.80 Grado del impacto sobre los servicios ecosistémicos**

Grado del impacto		Estado del SSEE		Jerarquía del impacto
Categoría del impacto	Valor	Categoría	Valor	
Bajo	1	Conservado	1	Irrelevante
Medio	2	Medianamente conservado	2	Moderado
Alto	3	Altamente intervenido	3	Severo o crítico

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Para determinar la afectación de los servicios por su localización, se tomó como referencia el ámbito de manifestación de los impactos, identificando si el servicio coincide o no espacialmente con el impacto, determinando así su aplicabilidad. En el caso donde no aplique el impacto al servicio ecosistémico, el grado sería "Ninguno".

### 2.3.5 Zonificación ambiental

La metodología utilizada para el desarrollo de la zonificación ambiental consiste en identificar para cada medio, los elementos clave y evaluar su sensibilidad ambiental. Esta se clasifica en Muy alta (5), Alta (4), Media (3), Baja (2) y Muy baja (1); teniendo en cuenta su capacidad de recuperación en caso de ser intervenidos y su importancia relacionada con los servicios ecosistémicos ofrecidos.

Con la intención de evaluar el escenario más crítico o desfavorable para la zona de interés, y considerando las variables seleccionadas, se aclara que durante el proceso en el cual se superponen e integran las capas mediante procesamiento de SIG para la generación de mapas, se implementa el método del valor máximo, lo que implica que siempre priman las condiciones de sensibilidad más altas de una variable sobre las condiciones menos relevantes de otras variables.

La clasificación de la sensibilidad para cada variable se especializa y posteriormente, las capas obtenidas se integran según el medio al que representan, obteniendo como resultado una capa o mapa de sensibilidad para cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico).

Finalmente, las capas de las zonificaciones ambientales intermedias obtenidas se superponen, y como resultado se obtiene la zonificación ambiental para el área de influencia del proyecto.

La metodología para realizar la zonificación ambiental contempla el desarrollo de los siguientes pasos:

1. Se seleccionan las variables a tener en cuenta en cada uno los medios (abiótico, biótico y socioeconómico) de la siguiente manera:
  - ✓ Las variables ambientales establecidas en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de Carreteras y/o Túneles y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.
  - ✓ Las demás variables que se consideren relevantes para el área de influencia del proyecto, según la información de la caracterización ambiental del área de influencia y la legislación vigente, considerando aspectos de los componentes del ambiente que podrían ser objeto de una posible afectación.

Nota: Las variables a seleccionar deben ser cartografiables.

2. Para cada variable seleccionada, se crea un shapefile en el cual, se divide el área de influencia del medio al que corresponda dicha variable en áreas homogéneas mediante polígonos, según las características que permitirán identificar los diferentes niveles de sensibilidad que serán asociados.
3. A cada shapefile generado se le crea un campo numérico en el cual se ingresarán los valores de sensibilidad que sean asignados a cada uno de los polígonos de la siguiente manera: Muy alta (5), alta (4), media (3), baja (2) y muy baja (1), teniendo en cuenta su capacidad de recuperación en caso de intervención y su importancia relacionada con los servicios ecosistémicos ofrecidos. Los rangos de calificación se definen para cada una de las variables seleccionadas siguiendo las definiciones de categoría que se presentan en la Tabla 2.81.

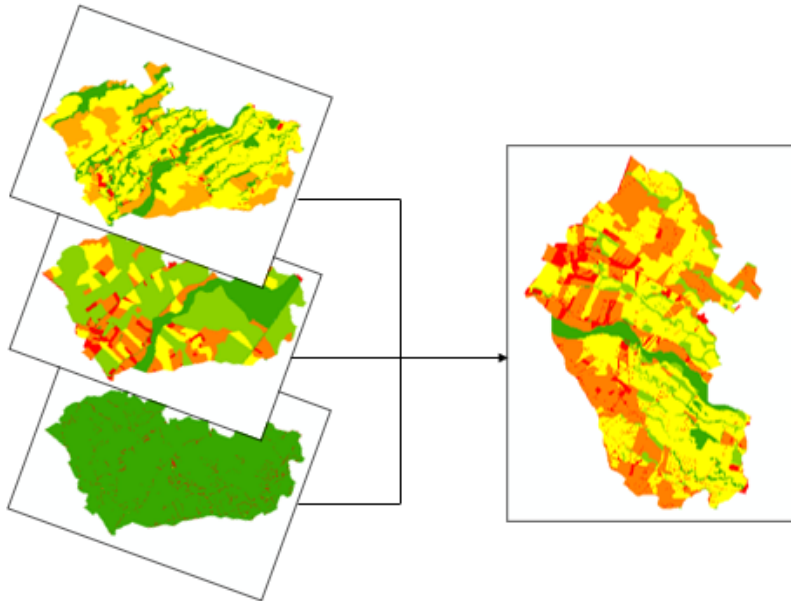
**Tabla 2.81 Categorías de calificación de la sensibilidad**

Categoría	Definición de la categoría
Muy alta (5)	Áreas con una capacidad de carga limitada o que poseen una muy baja capacidad de retornar a su estado inicial después de haber sido sometidas a una intervención natural o antrópica, y que por ende tienen una muy baja

Categoría	Definición de la categoría
	resistencia a sufrir cambios, recuperándose en el largo plazo. En esta categoría se incluyen las áreas para las cuales se tiene un marco jurídico especial de protección.
Alta (4)	Áreas que poseen una baja capacidad de retornar a su estado inicial después de haber sido sometidas a una intervención natural o antrópica, y que por ende tienen una baja resistencia a sufrir cambios recuperándose entre el largo plazo y el mediano plazo.
Moderada (3)	Áreas que poseen una capacidad moderada de retornar a su estado inicial después de haber sido sometidas a una intervención natural o antrópica, y que por ende tienen una resistencia moderada a sufrir cambios recuperándose entre el mediano plazo y corto plazo.
Baja (2)	Áreas que poseen una alta capacidad de retornar a su estado inicial después de haber sido sometidas a una intervención natural o antrópica, y que por ende tienen una resistencia alta a sufrir cambios recuperándose en el corto plazo.
Muy baja (1)	Áreas con condiciones que permiten una mínima afectación, retornando con facilidad a su estado inicial, es decir, con alta o inmediata capacidad de respuesta ante cambios o perturbaciones.

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

- Posteriormente, utilizando la herramienta "Unión" del software ArcGIS se unen los shapefile de cada una de las variables según el medio al que correspondan. Luego, en los shapefile resultantes se crea un nuevo campo numérico, en el cual se aplica el método del valor máximo, como se muestra en la Figura 2.35, obteniendo así las zonificaciones ambientales intermedias, es decir abiótica, biótica y socioeconómica, para la cual predominarán los valores más altos de sensibilidad asignados a cada una de las variables sobre los valores más bajos.



**Figura 2.35 Proceso de unión de capas mediante el método de valor máximo.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

5. Por último, para obtener la zonificación ambiental final, se realiza la unión de los shapefile de las zonificaciones ambientales intermedias, mediante el mismo procedimiento realizado en el punto 4, aplicando el método de valor máximo, por lo cual predominan los valores de mayor sensibilidad obtenidos en las zonificaciones ambientales intermedias sobre los valores más bajos; de esta manera se logra representar el área de influencia en términos de sensibilidad ambiental acorde a la Tabla 2.81.

### **2.3.6 Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales**

Según las necesidades y demandas de la modificación de licencia ambiental del proyecto, se identificaron los recursos naturales que se requieren para la construcción y operación de este y por lo cual se proceden a solicitar los siguientes permisos.

#### **2.3.6.1 Ocupaciones de cauces, lechos y playas fluviales**

La caracterización hidrológica corresponde a la estimación de los caudales máximos o caudales de diseño para los puntos asociados a las estructuras objeto de ocupación de cauce. Debido a que no se cuenta con registros directos de caudal se emplean métodos lluvia-escorrentía para las cuencas o áreas tributarias. En este caso se utilizó el método racional debido a que se presentan áreas inferiores a los 2,5 km<sup>2</sup> y se recomienda su uso para el diseño de este tipo de estructuras.

El estudio hidráulico se basa en el dimensionamiento de las obras proyectadas. Este análisis permite comprender el comportamiento de las obras con base a los caudales de diseño según los lineamientos del INVIAS. Los dimensionamientos se realizan con apoyo del software HY-8 y HEC-RAS.

En la Tabla 2.82, donde las coordenadas se presentan en sistema de proyección cartográfica Origen Nacional.

**Tabla 2.82 Localización puntos de ocupación de cauce**

ID	Tipo	Coordenadas – Origen nacional	
		Este [m]	Norte [m]
OC01	Box Culvert 2	4.620.068,31	2.359.668,30
OC02	Canal escalonado 1	4.620.078,39	2.359.684,57
OC03	Canal 2	4.620.066,78	2.359.695,16
OC04	Canal 1 sección 2	4.620.090,17	2.359.662,87
OC05	Canal 3 sección 1	4.620.229,77	2.360.233,70
OC06	Box Culvert 4	4.620.188,63	2.360.245,20
OC07	Canal 3 sección 2	4.620.165,59	2.360.272,29
OC08	Box Culvert 5	4.620.135,86	2.360.279,60
OC09	Alcantarilla 4	4.620.182,93	2.360.328,55
OC10	Canal 4	4.620.162,33	2.360.298,72
OC11	Canal Trapezoidal	4.620.092,58	2.360.288,14
OC12	Box Culvert 6	4.620.055,14	2.360.287,74
OC13	Canal 1 sección 1	4.620.245,68	2.359.484,84
OC14	Canal trapezoidal 2	4.620.043,48	2.360.285,01

Fuente: Alternativa Ambiental, S.A.S., 2025.

Para el diseño de las obras proyectadas se realizó una visita de campo para describir las condiciones hidráulicas. Los recorridos se llevaron a cabo en la zona donde se proyectará la variante de Mutatá y zonas cercanas con el propósito de identificar el sistema de drenaje.

#### 2.3.6.1.1 Parámetros morfométricos de las microcuencas

La caracterización de las microcuencas o áreas tributarias de las obras hidráulicas objeto de ocupación de cauce, fue realizada con información satelital (ALOS PALSAR) e información cartográfica del IGAC a escala 1:25.000, adicionalmente fue complementada mediante levantamientos con Dron.

##### A. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración fue estimado con las ecuaciones presentes en el numeral 2.3.3.1.5.

El tiempo de concentración mínimo fue tomado como de 15 min, con el propósito de no sobreestimar las intensidades de diseño<sup>155</sup>.

##### B. Análisis de precipitación e intensidad de la lluvia

###### 1. *Precipitación*

El análisis de precipitación se basa en registros de precipitación diario y mensual, de la red de estaciones pluviométricas y pluviográficas operadas por el IDEAM. Ver proceso metodológico en el numeral 2.3.3.1.5.

<sup>155</sup> (INVIAS, 2009)

#### D. Intensidades de diseño

Para determinar las intensidades de diseño para la estación y para cada periodo de retorno se utilizó la metodología de regionalización<sup>156</sup>. El proceso metodológico puede verse en el numeral 2.3.3.1.5.

#### E. Coeficiente de escorrentía

Para estimar el coeficiente de escorrentía se tienen en cuenta características y condiciones de terreno como cobertura del suelo, pendiente del terreno y periodos de retorno. El coeficiente definitivo se obtiene ponderando por áreas de acuerdo con valores recomendados por Ven Te Chow<sup>157</sup>.

#### F. Análisis de caudales

En este capítulo se presenta la estimación de los caudales de diseño para todas las obras de drenaje en la vía. Dado que no se cuenta con registros directos de caudal, se emplearon relaciones Lluvia–Escorrentía para estimar los caudales máximos en las cuencas o áreas tributarias.

En este caso solo se hizo uso del método racional para el cálculo de caudales ya que las áreas tributarias y cuencas presentes en el tramo de estudio tiene áreas menores de 2.5 Km<sup>2</sup> ya que como se menciona en el Manual de Drenaje de INVIAS 2009<sup>158</sup>, los métodos de hidrogramas sintéticos son utilizados para áreas de drenaje mayores a 2.5 Km<sup>2</sup>.

A continuación, se hace la descripción metodológica general de los procedimientos realizados para calcular los caudales de cada cuenca o área tributaria.

#### G. Método racional

El método racional es uno de los de mayor empleo debido a su sencillez. Su rango de validez según la magnitud del área de drenaje tiene múltiples conceptos que discrepan entre ellos Fattorelli y Fernandez<sup>159</sup> reseñan que el método racional es válido para áreas de drenaje con áreas inferiores a 200 km<sup>2</sup>, Sarmiento y Velez<sup>160</sup> expone como límite 50 km<sup>2</sup>, mientras que el INVIAS<sup>161</sup> presenta un rango desde la literatura entre 0.65 km<sup>2</sup> y 2.5 km<sup>2</sup>.

#### H. Estudio hidráulico

El principal insumo del análisis hidráulico corresponde a los caudales obtenidos en el análisis hidrológico mediante el método racional, de esta forma se puede comprender el comportamiento de las obras hidráulicas proyectadas basados en los caudales de diseño según los lineamientos del INVIAS<sup>162</sup>.

---

<sup>156</sup> (Vargas & Diaz-Granados, 1997)

<sup>157</sup> (Chow, 1994)

<sup>158</sup> (INVIAS, 2009)

<sup>159</sup> (Fattorelli, S. & Fernandez, P., 2011)

<sup>160</sup> (Sarmiento Ortiz, L. H. & Vélez Torres, G. S., 2001)

<sup>161</sup> (INVIAS, 2009)

<sup>162</sup> (INVIAS, 2009)

I. Caudal de diseño

Ya estimados los caudales máximos, se toman como caudales de diseños los asociados a los periodos de retorno de 10 y 20 años para evaluar las obras de drenaje proyectadas que se requieren para el manejo de aguas. La selección del periodo de retorno sigue los lineamientos del Manual de Drenaje para Carreteras<sup>163</sup>, los cuales se presentan a continuación en la Tabla 2.83.

**Tabla 2.83 Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial**

Tipo de obra	Periodo de retorno [años]
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0m9 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0,9 m de diámetro	20
Puentes menores (Luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje superficial	2

Fuente: Instituto Nacional de Vías, república de Colombia, 2025.

J. Evaluación hidráulica de las obras

I. *Canales de fondo uniforme*

Para establecer cuál es la capacidad de los canales, se emplea la fórmula de Manning, donde Q es el caudal transportado por el canal en m<sup>3</sup>/s, n es el coeficiente de rugosidad de Manning (n=0,014), A es el área mojada en m<sup>2</sup>, RH es el radio hidráulico en m y S es la pendiente del canal en m/m.

$$Q = \frac{A * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}}{n}$$

II. *Canales escalonados*

Este tipo de canales se diseñaron de acuerdo con la metodología propuesta en “Hydraulics of stepped structure: importance of flow regimes on stepped chutes and practical application in developing countries”<sup>164</sup>.

III. *Obras de drenaje transversal o alcantarillas*

Para la verificación hidráulicas de las obras se tienen en consideración las directrices del Manual de Drenaje para Carreteras<sup>165</sup>. Específicamente para este tipo de obras se utilizó el Software HY-8 (Federal Highway Administration del U.S. Department of Transportation) el cual tiene en

<sup>163</sup> (INVIAS, 2009)

<sup>164</sup> (Llano Gutierrez, 2003)

<sup>165</sup> (INVIAS, 2009)

consideración el rango de caudales, la geometría de las condiciones de encole, conducto y descole. La sección transversal de la vía, etc.

### 2.3.6.2 Permiso de aprovechamiento forestal

Durante el proceso de construcción se van a intervenir coberturas vegetales, donde es necesario identificar los árboles dentro del área de instalación. Particularmente para este proyecto en el área de intervención se realizará un censo al 100% de los árboles fustales que se van a aprovechar.

Los árboles de la zona se identificaron taxonómicamente, se midieron las variables biométricas más representativas las cuales fueron: Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) (Ver Fotografía 2.6), Altura Total (HT) y Altura Comercial (HC). Esto se realizó para todos los árboles con un DAP  $\geq$  10 cm, de esta forma se calculó el volumen total y comercial que está presente en la zona del proyecto. Cada árbol se marcó con un número consecutivo con pintura asfáltica.



**Fotografía 2.6 Medición Diámetro a la Altura del Pecho y marcación con pintura asfáltica en el árbol.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

Con la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP), altura comercial, altura total y diámetros de copa, tomadas de los individuos dentro del área de muestreo, se calculó el DAP, área basal, copa media y el volumen total y comercial por árbol utilizando las fórmulas de la Tabla 2.84. El factor de forma utilizado es de 0,65 y corresponde al valor del paraboloides para el cálculo del volumen de árboles en pie sugerido por el Proyecto de Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia<sup>166</sup>, avalada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARS). Posteriormente, con base en los registros de campo se estimó el valor promedio de volumen por hectárea. La densidad se calculó utilizando el paquete BIOMASS de la herramienta estadística

<sup>166</sup> (Rodríguez, 2013)

de R Studio. La biomasa aérea se calculó a partir de la zona de vida del área de implantación con ecuaciones alométricas para bosques naturales de Colombia teniendo en cuenta que en el área del proyecto se encontraron dos zonas de vida y la biomasa de raíces con la fórmula obtenidas por Cairns et al. (1997)<sup>167</sup> ambas descritas en la metodología de Yepes *et al.*, (2011)<sup>168</sup>. Para la estimación del carbono total se utilizó la ecuación descrita en Yepes *et al.*, (2011)<sup>169</sup>.

**Tabla 2.84 Formulas dasométricas.**

<b>Diámetro a la altura al pecho</b>	
$DAP(cm) = \frac{CAP}{\pi}$	Donde: DAP (cm): diámetro a la altura al pecho CAP (cm): circunferencia a la altura al pecho
<b>Área basal</b>	
$AB (m^2) = \frac{DAP^2 * \pi}{40000}$	Donde: AB (m <sup>2</sup> ): área basal
<b>Volumen total</b>	
$Vt (m^3) = AB * ff * Ht$	Donde: Vt (m <sup>3</sup> ): volumen total ff: factor de forma (0.65) Ht (m): altura total
<b>Volumen comercial</b>	
$Vc (m^3) = AB * ff * Hc$	Donde: Vt (m <sup>3</sup> ): volumen total ff: factor de forma (0.65) Hc (m): altura comercial
<b>Diámetro de copa media</b>	
$DCM (m) = \frac{DC1 + DC2}{2}$	Donde: DCM (m): diámetro de copa media DC1 (m): diámetro de copa 1 DC2 (m): diámetro de copa 2
<b>Desviación estándar</b>	
$S = \sqrt{S^2}$	Donde: S: desviación estándar S <sup>2</sup> : Varianza del volumen total
<b>Cálculo de biomasa aérea</b>	
$AGB (kg) = 0.0673 * (P * H * DAP^2)^{0.976}$	Donde: AGB: biomasa aérea ecuación 1 D: DAP P: densidad H: Altura total
<b>Cálculo de biomasa de raíces</b>	

<sup>167</sup> (Cairns, 1997)

<sup>168</sup> (Yepes, 2011)

<sup>169</sup> Ibid.

$BRG (kg) = \exp(-1,085 + 0,9256 * \ln BA)$	BRG: biomasa de raíces BA: biomasa aérea
Cálculo de biomasa total	
$BT (kg) = BA + BRG$	BT: biomasa total BA: biomasa aérea BRG: biomasa de raíces
Carbono	
$Carbono (kg) = \frac{BT}{2}$	BT: biomasa total

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.7 Evaluación ambiental

La valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos socioambientales identificados para los escenarios sin proyecto y con proyecto, se desarrolló mediante la aplicación de la Metodología de Conesa, versión 2010<sup>170</sup>, donde se identificaron los impactos positivos y negativos que son más significativos, y, por ende, presentan mayores niveles de importancia en la escala de calificación.

Así, mediante la matriz de evaluación ambiental se generó una correlación entre las actividades impactantes y los componentes susceptibles de recibir impactos en los medios abiótico, biótico y socioeconómico, identificando su naturaleza (positiva o negativa) y su grado de importancia.

Por lo tanto, el proceso secuencial de identificación de los impactos socioambientales se compone de los siguientes tres (3) elementos básicos que permiten identificarlos:

- **Actividad:** Conjunto de acciones necesarias para la ejecución de un proyecto (escenario con proyecto), o que se llevan a cabo en el área de influencia para el desarrollo económico de la zona (escenario sin proyecto).
- **Efecto:** Proceso físico, biótico, y socioeconómico que puede ser activado, suspendido o modificado por una determinada acción y que puede producir cambios o alteraciones en las relaciones que gobiernan la dinámica de los ecosistemas.
- **Impacto:** Cambio neto o resultado final (benéfico o perjudicial), que se produce en alguno de los elementos ambientales por causa de los cambios generados por una determinada acción.

Considerando lo anterior, una vez identificadas las posibles alteraciones, es preciso realizar una previsión y valoración de estas, por lo cual, se aplicó la Metodología propuesta por Conesa Fernández Vítora (2010), mediante la matriz de evaluación ambiental donde se generó una correlación entre las actividades impactantes y los componentes susceptibles de recibir impactos en los medios abiótico, biótico, socioeconómico y el componente de paisaje, identificando su

<sup>170</sup> (CONESA, 2010)

naturaleza (positiva o negativa) y su grado de importancia, en el escenario actual (sin proyecto) y en las diferentes etapas del proyecto (escenario con proyecto).

En este sentido, a continuación, se describe el significado de los elementos que conforman el análisis planteado por Vicente Conesa para la valoración cualitativa de los impactos:

### 2.3.7.1 Signo

El signo del impacto hace referencia al beneficio (+) o perjuicio (-) de las acciones que van a actuar sobre los factores considerados. (Ver Tabla 2.85)

**Tabla 2.85. Descripción del criterio Signo (+/-)**

Variable	Nomenclatura	Definición	Criterio/Rango	Calificación
Signo	Positivo	Se considera positivo cuando el resultado de la acción sobre el factor ambiental considerado produce una mejora de la calidad ambiental de este último	Beneficioso	(+)
	Negativo	Se considera negativo cuando el resultado de la acción produce una disminución de la calidad ambiental del factor ambiental considerado.	Perjudicial	(-)

Fuente: CONESA, 2010, adaptado por Alternativa Ambiental, 2025<sup>171</sup>

### 2.3.7.2 Intensidad (IN)

Este criterio hace referencia al grado de incidencia que la acción tiene sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa, es decir, que este expresa el grado de destrucción del factor considerado independientemente de la extensión afectada. Por tanto, la categorización de la intensidad se evaluó en términos de los criterios relacionados en la Tabla 2.86.

**Tabla 2.86. Descripción del criterio Intensidad (IN)**

Intensidad (IN)	Definición	Valor
Baja	Implica una afectación o destrucción mínima del componente analizado.	1
Media	Implican la afectación o destrucción hasta del 25% del componente analizado.	2
Alta	Implican la afectación o destrucción hasta del 50% del componente analizado.	4
Muy Alta	Implican la afectación o destrucción hasta del 75% del componente analizado.	8
Total	Implica la afectación o destrucción total del componente en el área en la que se produce el impacto.	12

Fuente: Conesa, 2010<sup>172</sup>.

### 2.3.7.3 Extensión (EX)

Corresponde a la fracción del medio afectada por la acción del proyecto. Esta se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en que se sitúa el factor.

<sup>171</sup> (CONESA, 2010)

<sup>172</sup> Ibid

Así mismo, puede tratarse como el porcentaje (%) de área afectada por la acción, respecto al entorno total en donde se manifiesta el efecto o también se puede relativizar con respecto al volumen, y respecto a cualquier unidad o indicador que refleje la parte del medio afectada. Por tanto, la categorización de la extensión se evaluó en términos de los criterios relacionados en la Tabla 2.87.

**Tabla 2.87. Descripción del criterio Extensión (EX)**

Extensión (EX)	Definición	Valor
Puntual	Si la acción produce un efecto muy localizado	1
Parcial	Aquel cuyo efecto supone una incidencia en parte del entorno, pero no en forma extensa.	2
Extenso	El impacto no admite una ubicación precisa del entorno de la actividad y tiene una influencia generalizada en gran parte de él.	4
Total	Aquel cuyo impacto se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno.	8
Crítico	Cuando el impacto se produce en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de cuatro unidades por encima del que le correspondía, con lo cual se denota su carácter de criticidad en la ocurrencia del impacto en cuestión. Por ejemplo: Zonas de reserva forestal, humedales, parques naturales, etc.	+4

Fuente: Conesa, 2010<sup>173</sup>.

#### 2.3.7.4 Momento (MO)

Este hace referencia al plazo de manifestación del impacto, es decir, alude al tiempo ( $t_m$ ) que transcurre entre la aparición de la acción ( $t_0$ ) y el comienzo del efecto ( $t_j$ ) sobre el factor del medio considerado. La expresión matemática se encuentra determinada por la Ecuación 2.1.

$$t_m = t_j - t_0$$

#### Ecuación 2.1. Expresión matemática del criterio Momento

Fuente: Conesa, 2010<sup>174</sup>

Adicionalmente, en la Tabla 2.88 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.88. Descripción del criterio Momento (MO)**

Momento (MO)	Definición	Valor
Largo plazo	Si el impacto se presenta en un período de tiempo mayor a cinco (5) años.	1
Mediano plazo	Si el impacto se presenta en un lapso entre uno (1) y cinco (5) años.	2
Corto plazo	Si el impacto se presenta en un período de tiempo inferior a un (1) año.	3

<sup>173</sup> Ibid

<sup>174</sup> Ibid

Momento (MO)	Definición	Valor
Inmediato	Si el tiempo impacto se presenta con la aparición de la acción (inmediata)	4
Crítico	Si concurre alguna circunstancia que hiciese crítico el momento del impacto, se le adicionan cuatro (4) unidades, por encima de las especificadas. Por ejemplo: Emisión de ruido en zonas próximas a un centro hospitalario o en zonas residenciales, temporadas invernales o de verano que puedan aumentar el impacto, entre otras.	+4

Fuente: Conesa, 2010<sup>175</sup>.

### 2.3.7.5 Persistencia o duración (PE)

Hace referencia al tiempo en el que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a sus condiciones iniciales previas a la acción. La expresión matemática se encuentra determinada por la Ecuación 2.2.

$$t_p = t_r - t_j$$

#### Ecuación 2.2. Expresión matemática del criterio Persistencia

Fuente: Conesa, 2010<sup>176</sup>

Donde:

- $t_p$ : Es el tiempo de persistencia del efecto, es decir, la duración del impacto desde su inicio hasta que el factor afectado vuelve a las condiciones iniciales previas a la acción. Representa cuánto tiempo se percibe el efecto del impacto.
- $t_r$ : Es el momento de retorno. Corresponde al instante en el que el factor afectado regresa a su estado previo al impacto. Este momento puede depender de diversos procesos naturales o de intervención humana.
- $t_j$ : Es el momento de aparición del impacto, es decir, el tiempo exacto en el que comienza a manifestarse el efecto como resultado de la acción que lo genera.

En este sentido, por medio de este criterio se busca pronosticar el momento de retorno  $t_r$ , integrando en consecuencia el tiempo que realmente va a permanecer el efecto  $t_p$  haya o no cesado la actividad.

De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 2.89 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

Tabla 2.89. Descripción del criterio Persistencia (PE)

Persistencia (PE)	Definición	Valor
Fugaz	Si la duración del impacto es menor a un (1) año.	1
Temporal	Si el impacto dura entre uno (1) y diez (10) años.	2

<sup>175</sup> Ibid

<sup>176</sup> Ibid

Persistencia (PE)	Definición	Valor
Persistente	Si el impacto tiene una duración entre once (11) y quince (15) años.	3
Permanente	Si el impacto tiene una duración mayor a quince (15) años.	4

Fuente: Conesa, 2010<sup>177</sup>.

### 2.3.7.6 Reversibilidad (RV)

Hace referencia a la posibilidad de reconstruir el factor afectado por el desarrollo de las actividades del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la ejecución de la actividad, por medios naturales, una vez esta deja de actuar sobre el medio. Este criterio, obedece a la expresión matemática presentada en la Ecuación 2.3.

$$t_{Rev} = t_r - t_f = t_{pr}$$

#### Ecuación 2.3. Expresión matemática del criterio Reversibilidad

Fuente: Conesa, 2010<sup>178</sup>

Donde:

- $t_{Rev}$ : Es el tiempo de reversión, el cual, representa el intervalo desde el momento en que cesa la acción o actividad que genera el impacto hasta el momento en que el factor afectado vuelve a su estado inicial previo al impacto.
- $t_r$ : Es el momento de retorno, el cual representa el tiempo en el que el factor afectado recupera sus condiciones originales.
- $t_f$ : Es el momento de finalización de la acción, es decir, el instante en el que se detiene la causa que genera el impacto.
- $t_{pr}$ : Corresponde a  $t_{Rev}$  definido como el tiempo de permanencia del efecto después de finalizar la acción que lo generó.

Adicionalmente, en la Tabla 2.90 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio según la metodología seleccionada.

**Tabla 2.90. Descripción del criterio Reversibilidad (RV)**

Reversibilidad (RV)	Definición	Valor
Corto plazo	Si el tiempo de la recuperación es menor a un (1) año.	1
Medio plazo	Si el tiempo de la recuperación dura entre uno (1) y diez (10) años.	2
Largo plazo	Si el tiempo de la recuperación dura entre once (11) y quince (15) años.	3
Irreversible	Si el tiempo de la recuperación tiene una duración mayor a quince (15) años o es irreversible.	4

Fuente: Conesa, 2010.

<sup>177</sup> Ibid

<sup>178</sup> Ibid

### 2.3.7.7 Sinergia (SI)

Hace referencia a la acción de dos (2) o más causas, cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples, en donde la totalidad de la manifestación de estos, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la esperada cuando estos actúan de forma independiente. En la Tabla 2.91 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.91. Descripción del criterio Sinergia (SI)**

Sinergia (SI)	Definición	Valor
Simple (sin sinergismo)	Cuando una acción actuando sobre un componente no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo componente.	1
Sinérgico	Cuando se presenta un sinergismo moderado.	2
Muy Sinérgico	Cuando se presenta un sinergismo muy alto.	4

Fuente: Conesa, 2010.

### 2.3.7.8 Acumulación (AC)

Este atributo da una idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Así mismo, corresponde también, a aquel impacto que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad al carecer el ambiente de mecanismos de eliminación. En la Tabla 2.92 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.92. Descripción del criterio Acumulación (AC)**

Acumulación (AC)	Definición	Valor
Simple	Cuando una acción no produce impactos acumulativos.	1
Acumulativo	Cuando una acción produce impactos acumulativos	4

Fuente: Conesa, 2010.

### 2.3.7.9 Efecto (EF)

Este atributo hace referencia a la relación causa-efecto, es decir, a la forma en la que se manifiesta el efecto sobre un factor como consecuencia de la acción. En la Tabla 2.93 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.93. Descripción del criterio Efecto (EF)**

Efecto (EF)	Definición	Valor
Indirecto o secundario	Cuando el impacto no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de los efectos que ha generado dicha acción (en otro tiempo y lugar).	1
Directo o primario	Cuando el impacto es consecuencia directa de la acción (mismo tiempo y lugar)	4

Fuente: Conesa, 2010.

### 2.3.7.10 Periodicidad (PR)

Hace referencia a la regularidad de manifestación del efecto, ya sea de forma continua (las acciones que lo producen permanecen constante en el tiempo), o discontinua (las acciones que lo producen actúan de manera regular (Intermitente)), o irregular o irregular o esporádica en el tiempo. En la Tabla 2.94 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.94. Descripción del criterio Periodicidad (PR)**

Periodicidad (PR)	Definición	Valor
Irregular, aperiódico o discontinuo	Cuando el impacto se presenta de manera imprevisible en el tiempo o sin periodos fijos de aparición.	1
Periódico	Cuando el impacto se presenta de manera cíclica o recurrente	2
Continuo	Cuando el impacto se presenta en forma constante o permanente en el tiempo	4

Fuente: Conesa, 2010.

### 2.3.7.11 Recuperabilidad (MC)

Hace referencia a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia de las actividades del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de la intervención humana, en otros términos, mediante la introducción de medidas correctoras o restauradoras. En la Tabla 2.95 se presentan los grados de categorización otorgados para este criterio.

**Tabla 2.95. Descripción del criterio Recuperabilidad (RC)**

Recuperabilidad (MC)	Definición	Valor
Inmediata	Si el impacto puede recuperarse totalmente por la intervención humana de manera inmediata.	1
A corto plazo	Si el impacto puede recuperarse totalmente por la intervención humana de manera inmediata, es decir, menor a un (1) año.	2
A medio plazo	Si el impacto puede recuperarse totalmente por la intervención humana a mediano plazo, es decir, entre uno (1) y diez (10) años	3
Mitigable o compensable	Mitigable: Si el componente impactado en recuperable parcialmente. Compensable: Si el impacto es irrecuperable, pero existe la posibilidad de compensarlo	4
Irrecuperable	Cuando es impacto es irrecuperable tanto por la acción natural como la humana	8

Fuente: Conesa, 2010.

De esta manera, en la Tabla 2.96, se muestran de forma resumida los criterios de valoración y la clasificación cuantitativa de cada uno de ellos.

**Tabla 2.96 Metodología de valoración de impactos**

Variable	Nomenclatura	Definición	Criterio/Rango	Calificación
Signo	<b>Positivo (+)</b>	Hace alusión al carácter benéfico (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.	Impacto benéfico	<b>(+)</b>
	<b>Negativo (-)</b>		Impacto perjudicial	<b>(-)</b>
Intensidad	<b>IN</b>	Grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa. Varía entre 1 y 12, siendo 12 la expresión de la destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y 1 (uno) mínima afectación.	Baja	1
			Media	2
			Alta	4
			Muy alta	8
			Total	12
Extensión	<b>EX</b>	Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (% de área respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto). Si la acción produce un efecto muy localizado, se considera que el impacto tiene un carácter puntual (1). Si, por el contrario, el impacto no admite una ubicación precisa del entorno de la actividad, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será Total (8). Cuando el efecto se produce en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de cuatro unidades por encima del que le correspondía en función del % de extensión en que se manifiesta.	Puntual	1
			Parcial	2
			Extensa	4
			Total	8
			Crítica	<b>(+4)</b>
Momento	<b>MO</b>	Alude al tiempo entre la aparición de la acción que produce el impacto y el	Largo plazo	1

Variable	Nomenclatura	Definición	Criterio/Rango	Calificación
		comienzo de las afectaciones sobre el factor considerado. Si el tiempo transcurrido es nulo, el momento será Inmediato, y si es inferior a un año, Corto plazo, asignándole en ambos casos un valor de cuatro (4). Si es un período de tiempo mayor a cinco años, Largo Plazo (1).	Medio plazo	2
			Inmediato	4
			Crítico	(+4)
Persistencia	PE	Tiempo que supuestamente permanecerá el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por los medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.	Fugaz	1
			Temporal	2
			Permanente	4
Reversibilidad	RV	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquel deje de actuar sobre el medio.	Corto plazo	1
			Medio plazo	2
			Irreversible	4
Sinergia	SI	Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.	Sin sinergismo (simple)	1
			Sinérgico	2
			Muy sinérgico	4

<b>Variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Definición</b>	<b>Criterio/Rango</b>	<b>Calificación</b>
Acumulación	<b>AC</b>	Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple), el efecto se valora como uno (1); si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a cuatro (4).	Simple	1
			Acumulativo	4
Efecto	<b>EF</b>	Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta, o indirecto o secundario, cuando la 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.	Indirecto (secundario)	1
			Directo	4
Periodicidad	<b>PR</b>	Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo (efecto continuo)	Irregular, aperiódico o discontinuo	1
			Periódico	2
			Continuo	4
Recuperabilidad	<b>MC</b>	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones	Recuperable inmediato	1

Variable	Nomenclatura	Definición	Criterio/Rango	Calificación
		iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental). Cuando el efecto es irre recuperable (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor de ocho (8). En caso de ser irre recuperable, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor adoptado será cuatro (4).	Recuperable a corto plazo	2
			Recuperable a medio plazo	3
			Mitigable o compensable	4
			Irrecuperable	8

Fuente: Vicente Conesa Fernández - Vítora (2010)

Una vez valorados los atributos de cada impacto, la ecuación resultante de importancia del impacto es la siguiente:

$$I: \pm (3IN + 2EX + MO + DU + RV + MC + SI + AC + EF + PR)$$

Ecuación 4. Expresión para el cálculo de la importancia del impacto ambiental

Según el valor de importancia asignado a cada impacto, estos fueron clasificados en irrelevantes, moderados, severos y críticos, tanto para los impactos negativos como positivos, y se asignó una escala de colores para su diferenciación. Así, en la Tabla 2.97 y Tabla 2.98 se presenta la clasificación de impactos positivos y negativos utilizada para la evaluación de los impactos.

**Tabla 2.97 Clasificación de impactos negativos**

Valor	Clasificación	Límite inferior categoría	Límite superior categoría
-13 a -25	Irrelevante	-13	-25
-26 a -50	Moderado	-26	-50
-51 a -75	Severo	-51	-75
-76 a -100	Crítico	-76	-100

Fuente: Vicente Conesa Fernández - Vítora (2010)

**Tabla 2.98 Clasificación de impactos positivos**

Valor	Clasificación	Límite inferior categoría	Límite superior categoría
13 a 25	Irrelevante (+)	13	25
26 a 50	Moderado (+)	26	50
51 a 75	Severo (+)	51	75
76 a 100	Crítico (+)	76	100

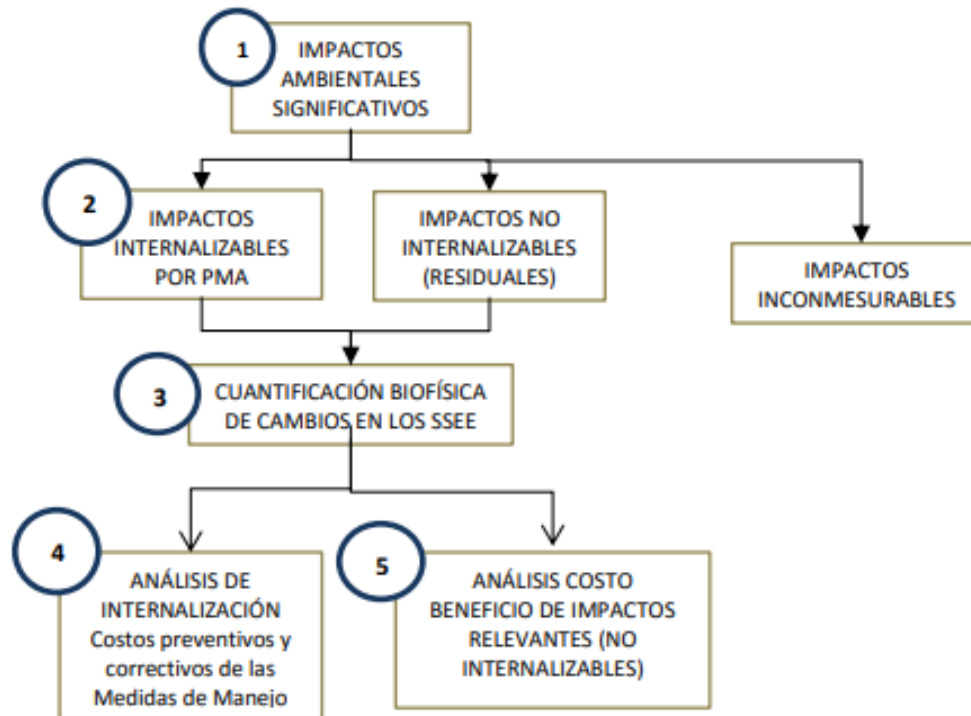
Fuente: Vicente Conesa Fernández - Vítora (2010)

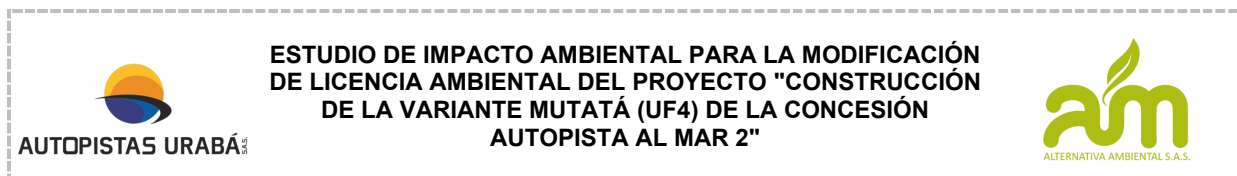
A partir de lo anterior, se realizó la identificación de actividades e impactos en los escenarios sin proyecto y con proyecto, identificación de impactos residuales y de los acumulativos.

### 2.3.8 Valoración económica

El procedimiento para la valoración económica de los impactos ambientales sigue la ruta metodológica planteada en el Manual Técnico de Valoración Económica de Impactos Ambientales para la aplicación del Análisis Costo Beneficio-ACB ambiental, en la toma de decisiones, el cual plantea los pasos que se describen en la Figura 2.36.

Estas etapas están relacionadas con las fases del ciclo del proyecto, dado que el análisis costo beneficio condensa los resultados del desarrollo de estos. Lo fundamental en este ACB es incorporar la valoración de los impactos ambientales (a partir de las afectaciones en el flujo de bienes y servicios ambientales impactados) dentro de la evaluación económica, sin considerar el análisis financiero.





### Figura 2.36 Etapas de la evaluación económica ambiental

Fuente: Criterios Técnicos para el uso de Herramientas Económicas en Proyectos, Obras o Actividades Objeto de Licenciamiento Ambiental. MADS. 2017.

A continuación, se describe, de manera general, las etapas metodológicas presentadas en la figura anterior.

#### 2.3.8.1 Impactos ambientales significativos

La relevancia de un impacto hace referencia a la mayor importancia que presenta frente a los instrumentos de la evaluación ambiental de un proyecto. Es decir, un impacto es relevante dependiendo de si requiere un mayor esfuerzo o mayor complejidad respecto a la aplicación de dichos instrumentos o estrategias para su tratamiento o control.

Siguiendo la recomendación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) se iniciará el análisis de internalización de los impactos con la identificación de los significativos o de mayor relevancia en cuanto al nivel de afectación que puedan ocasionar en el ambiente. La selección de los impactos ambientales relevantes de un proyecto se traduce en la identificación que deben ser valorados económicamente y permite orientar la selección de las metodologías más apropiadas para la construcción de los cálculos.

Para seleccionar los impactos más relevantes, a partir del insumo de la jerarquización de impactos efectuado en el capítulo de evaluación de los impactos ambientales, se considerarán los siguientes criterios:

- Nivel de importancia o significancia en la jerarquización de los impactos
- Análisis de internalización de los impactos
- Presencia de elementos ecológicos sensibles o vulnerables

#### 2.3.8.2 Impactos internalizables por PMA

La internalización de costos es la herramienta de la economía ambiental para medir impactos ambientales, incluirlos en los informes financieros como parte de la producción y tomar medidas que busquen evitarlos o minimizarlos. Para lograr este objetivo es imperante realizar una valoración económica ambiental adecuada que permita la cuantificación de los bienes y servicios ambientales.

El análisis de internalización consistirá en identificar aquellos impactos que, de acuerdo con el análisis y el planteamiento de las medidas comprendidas en la mitigación, puedan ser corregidos y prevenidos. Estos impactos podrán ser internalizados, es decir, podrán ser controlados en su totalidad por el correcto desarrollo de los programas, obras y actividades del Plan de Manejo Ambiental, por lo que, en sentido estricto, el monto de los PMA puede reflejar el valor económico de los impactos siempre y cuando se cumpla con al menos tres criterios para este análisis: la predictibilidad temporal y espacial del cambio biofísico, la alta certeza y exactitud en las medidas de prevención o corrección y que los programas o medidas para la corrección tengan una efectividad, en lo posible, del 100%.

### **2.3.8.3 Impactos no internalizables**

Los impactos no internalizables serán aquellos que no se puedan prevenir y/o corregir con las medidas de manejo planteadas en los PMA. Estos impactos deberán ser valorados económicamente a través de metodologías de precios de mercado, gastos actuales y potenciales, preferencias reveladas o preferencias declaradas o transferencia de beneficios y aquellos que permitan su internalización no estarán sujetas a valoración económica, no obstante, se deberá presentar información sobre los costos de internalización que, en la mayoría de los casos, coinciden con los costos del plan de manejo.

### **2.3.8.4 Cuantificación biofísica de cambios en los SSEE**

La cuantificación biofísica se refiere a la expresión del impacto en unidades medibles. El impacto refleja un cambio en alguna variable considerada, por lo tanto, debe ser expresado en las mismas unidades de la variable que se está observando o en la variable de aproximación a la variable objetivo. Así, cuando el bien o servicio ambiental se refleje - por ejemplo - una variable que mide área, la cuantificación del impacto expresa un área de pérdida o afectación.

### **2.3.8.5 Análisis de internalización**

La metodología propuesta para realizar el análisis de internalización comprenderá los siguientes pasos:

- Definición de indicadores de eficacia
- Estimación de los costos ambientales anuales
- Estimación del Valor Presente Neto (VPN)

### **2.3.8.6 Análisis Costo Beneficio de impactos relevantes no internalizables**

El Análisis Costo Beneficio Ambiental consistirá en la valoración en términos monetarios de los efectos relevantes no internalizables. Una vez se identifican los impactos más importantes, estos deben ser calculados bajo una misma unidad monetaria de medida (dólares estadounidenses, pesos colombianos, etc.) y sobre una base anual, teniendo en cuenta la vida útil del proyecto. Así, en esta etapa se cuantificarán, en términos monetarios, todos los flujos de costos y beneficios sociales asociados al proyecto. Para su cuantificación monetaria se usarán precios de mercado para los impactos que cuentan con un mercado establecido, métodos de valoraciones económicas no declaradas y transferencia de beneficios.

En el caso que no se puedan valorar impactos con alta incertidumbre, debe dejarse descrito como un impacto potencial no valorado para que en una etapa ex-post sea cuantificado y se le realice seguimiento. A continuación, se presentan los pasos para llevar a cabo el Análisis Costo Beneficio Ambiental.

- Descontar el flujo de beneficios y costos

Consistirá en descontar el flujo de beneficios y costos en términos de la sociedad. Es decir, los costos/beneficios cuantificados a partir de las técnicas de valoración, deben agregarse dependiendo de la población beneficiada/afectada, y el periodo de vida útil del proyecto. A su vez, la inversión y los costos del proyecto deberán ser contabilizados a precios económicos, a través del uso de precios cuenta.

Una vez se tiene el flujo de costos y beneficios consolidado, este se descuenta utilizando la tasa social de descuento, para obtener el Valor Presente Neto (VPN) de los beneficios/costos.

Los beneficios y costos se agregarán de forma anual (según corresponda), teniendo en cuenta los periodos sobre los cuales se presenta el impacto, y el número de afectados (por ejemplo, número de viviendas, número de hogares, número de hectáreas, etc.). Lo anterior se deberá especificar para cada tipo de costo y beneficio valorado.

El cálculo del VPN se obtiene aplicando la fórmula:

$$VPN = \sum_I \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} = \sum_I \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_I \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Dónde:

Bi: Corresponde a la valoración de impactos positivos en el año i.

Ci: Sumatoria de los impactos negativos en el año i.

r: Es la tasa social de descuento

- Obtención de los principales criterios de decisión

Los principales criterios o indicadores de decisión de la viabilidad ambiental y social de un proyecto son el VPN y la relación costo/beneficio. El criterio de aceptación, rechazo o indiferencia en la viabilidad de un proyecto, consiste en un VPN mayor a cero, menor a cero, e igual a cero, respectivamente, como se muestra en la Tabla 2.99.

**Tabla 2.99 Interpretación del indicador VPN**

Valor Presente Neto (VPN)	Interpretación
VPN > 0	Los beneficios del proyecto son mayores que sus costos.
VPN = 0	El proyecto no produce beneficios ni costos.
VPN < 0	Los costos del proyecto son mayores que sus beneficios. Por tanto, no es viable económicamente.

Fuente: MINAMBIENTE y ANLA, 2017

Existe otro indicador de análisis para la viabilidad del proyecto, la relación beneficio / costo. La cual estará dada por el cociente entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos.

$$RBC = \frac{\sum_I \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_I \frac{C_i}{(1+r)^i}} = \frac{VPN \text{ Beneficios}}{VPN \text{ Costos}}$$

Un indicador menor que uno, significará que el proyecto provoca un deterioro en bienestar social, y un indicador igual a cero, significa que el proyecto no genera cambios en bienestar, como se puede observar en la Tabla 2.100.

**Tabla 2.100 Interpretación de la RBC. Interpretación de la RBC**

Valor Presente Neto (VPN)	Interpretación
---------------------------	----------------

RBC > 0	El proyecto genera bienestar social
RBC = 0	El proyecto no presenta cambios en bienestar social
RBC < 0	El proyecto empeora el bienestar social. Por lo tanto, no debe aceptarse su ejecución

Fuente: MINAMBIENTE y ANLA, 2017

- Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad de un proyecto muestra que tan sensible es el flujo de los beneficios y los costos a cambios tales como: una disminución de los ingresos, un aumento de los costos, un cambio en la tasa social de descuento, entre otros. Este análisis consistirá en suponer variaciones que castiguen los beneficios y observar cómo, a partir de la variación, cambia el VPN del proyecto. Con este análisis será posible establecer las variables de riesgo del proyecto.

Con la siguiente fórmula se hacen los cálculos de los porcentajes de cambio del VPN cuando se suponen cambios en algunas variables del proyecto:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VPN_n - VPN_e}{VPN_e}$$

Dónde:

VPN<sub>e</sub>= Valor Presente Neto antes del cambio

VPN<sub>n</sub>= Valor Presente Neto después del cambio

El análisis de sensibilidad del proyecto se hará considerando una variación en la tasa social de descuento y variaciones de los costos y los beneficios sociales y ambientales del proyecto.

### 2.3.9 Zonificación de manejo ambiental

La metodología aplicada para la zonificación de manejo ambiental contempla el desarrollo de la reclasificación de la zonificación ambiental realizada para cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico) asociando sus niveles de sensibilidad a las áreas de manejo como se muestra en la Tabla 2.101.

Es importante anotar que, las zonas con características relevantes de vulnerabilidad o importancia, en términos ambientales y/o sociales, son clasificadas con sensibilidad muy alta, pueden reclasificarse como áreas de exclusión cuando son protegidas por la normatividad por medio del establecimiento de prohibiciones sobre su uso, aprovechamiento o intervención, o como áreas de intervención con restricciones altas cuando la normatividad busca su protección por medio de la imposición de restricciones.

Adicionalmente, en algunos casos, zonas con sensibilidad muy alta que cuentan con prohibiciones impuestas por la normatividad, pueden pasar a ser zonas de intervención con restricciones altas, siempre y cuando sobre estas se soliciten permisos otorgados por las autoridades ambientales como sustracciones de áreas de reserva forestal, permisos de ocupación de cauce, captación, vertimientos o aprovechamiento forestal etc., los cuales garantizan que las intervenciones se realicen de la manera adecuada y con la menor perturbación posible, lo anterior reforzado con las medidas a implementar en los planes y programas

establecidos, tal y como lo son el plan de manejo ambiental, el Plan de Compensación del Componente biótico, el Plan de gestión del riesgo de desastre, entre otros.

**Tabla 2.101 Reclasificación de la zonificación ambiental para obtener la zonificación de manejo**

Zonificación ambiental	Valor cuantitativo	Zonificación de manejo	Valor cuantitativo
Sensibilidad		Área de manejo	
Muy alta	5	Áreas de exclusión	5
Muy alta	5	Áreas de intervención con restricciones altas	4
Alta	4	Áreas de intervención con restricciones altas	4
Moderada	3	Áreas de intervención con restricciones medias	3
Baja	2	Áreas de intervención con restricciones bajas	2
Muy baja	1	Áreas de intervención	1

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

En la Tabla 2.102, se presentan los criterios definidos para cada una de las categorías de manejo, los cuales fueron establecidos con base en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de Carreteras y/o Túneles<sup>179</sup> y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales<sup>180</sup>, y teniendo en cuenta las intervenciones a realizar y las respectivas medidas de manejo a implementar por el proyecto.

**Tabla 2.102 Categorías de manejo.**

Categoría	Descripción
<b>Áreas de exclusión</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.
<b>Áreas de intervención con restricciones:</b> Corresponde a áreas donde se deben tener en cuenta manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y fases del proyecto y con la vulnerabilidad ambiental de la zona. Se deben establecer grados, tipos de restricción y condiciones para la ejecución de las obras y	<p>Áreas de intervención con restricciones altas:</p> <p>Áreas en las cuales para su intervención se requiere de la solicitud de permisos como aprovechamiento forestal y/o que por su nivel de sensibilidad (muy alta o alta requieren la ejecución de medidas de manejo de alta complejidad en términos de ingeniería, infraestructura y/o costos, y/o principalmente medidas de compensación y mitigación.</p>

<sup>179</sup> (Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2015)

<sup>180</sup> (MADS, 2018)

Categoría	Descripción	
actividades. Se debe presentar en tres categorías (alta, media y baja).	Áreas de intervención con restricciones medias	Áreas en las cuales para su intervención se requiere de la solicitud de permisos como aprovechamiento forestal y/o que por su nivel de sensibilidad moderada requieren la ejecución de medidas de manejo con una complejidad moderada en términos de ingeniería, infraestructura y/o costos, y/o principalmente medidas de medidas de mitigación, corrección y prevención.
	Áreas de intervención con restricciones bajas	Áreas en las cuales para su intervención se requiere de la solicitud de permisos como aprovechamiento forestal y/o que por su nivel de sensibilidad baja requieren la ejecución de medidas de manejo con una complejidad baja en términos de ingeniería, infraestructura y/o costos, y/o principalmente medidas de medidas de manejo de corrección y de prevención.
<b>Áreas de intervención</b>	Corresponde a áreas donde se puede ejecutar el proyecto, con un manejo ambiental acorde a las actividades y fases de este.	

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

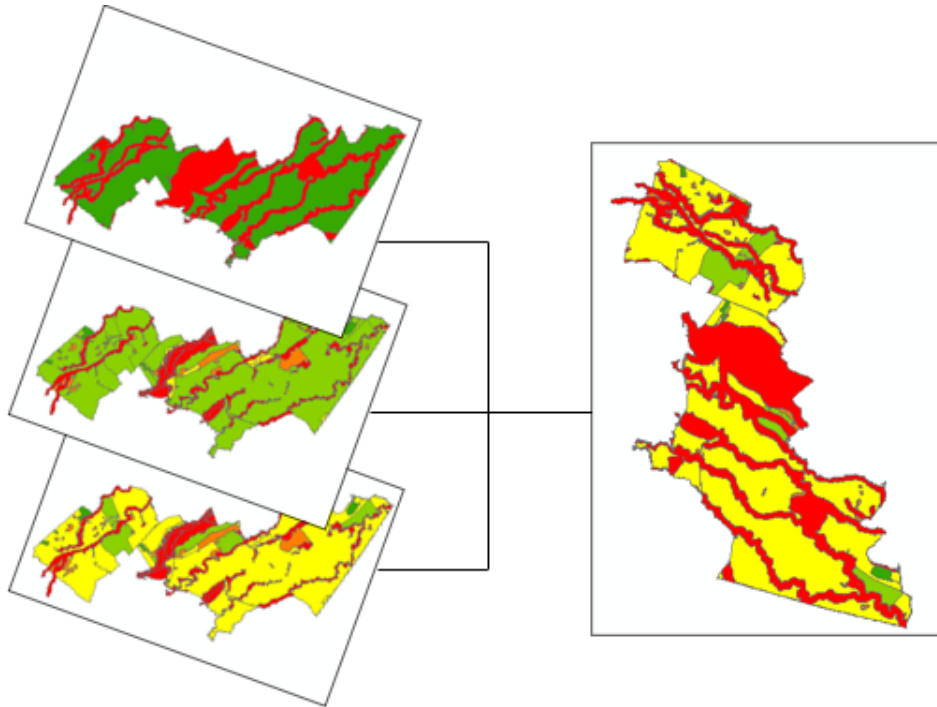
Para realizar la reclasificación de la zonificación ambiental según las respectivas categorías de manejo, se realiza el siguiente procedimiento SIG:

1. Se toman las siguientes capas temáticas elaboradas como zonificaciones ambientales intermedias:
  - Zonificación ambiental abiótica
  - Zonificación ambiental biótica
  - Zonificación ambiental socioeconómica

A cada una de estas capas se les agrega un nuevo campo numérico, en el cual se asignarán los valores asociados a las diferentes categorías de manejo (ver Tabla 2.101 y Tabla 2.102), obteniendo así las zonificaciones de manejo ambiental intermedias para cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico).

2. Posteriormente, utilizando la herramienta "Union" del software Arcgis se unen las capas de las zonificaciones de manejo ambiental intermedias elaboradas en el paso 1. Luego, en las capas resultantes se crea un nuevo campo numérico, en el cual se aplica el método del valor máximo como se muestra en la Figura 2.37, obteniendo como resultado la

zonificación de manejo ambiental final, a partir de la cual se orienta la intervención del proyecto en el área, y la aplicación de medidas de manejo relacionadas en el capítulo 10. Planes y programas.



**Figura 2.37 Proceso de unión de capas mediante el método de valor máximo.**

Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.10 Planes y programas

Se formuló el Plan de Manejo Ambiental – PMA estructurado en programas y subprogramas con el objeto de dar línea al control integral de los impactos ambientales.

#### 2.3.10.1 Plan de manejo ambiental

Se presenta el Plan de Manejo Ambiental, que contiene los mecanismos que permiten aplicar oportunamente medidas, ya sean de manejo, prevención, mitigación, control, protección, vigilancia o compensación, en las áreas de influencia del proyecto, como respuesta a los posibles impactos generados para cada una de las etapas; el cual fue elaborado considerando las medidas establecidas en el PMA aprobado mediante la Licencia ambiental Resolución 1752 de 2019.

El plan de manejo ambiental fue desarrollado en programas de manejo ambiental considerando las actividades del proyecto, la evaluación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de las obras y la zonificación de manejo ambiental. El PMA se presenta en forma de fichas, con una codificación y estructuración que posibilitan su control y actualización; en estas fichas se precisa: objetivos, metas, fase(s) del proyecto, impactos a controlar, tipo de medida y descripción, acciones a desarrollar, lugar de aplicación, relación de las obras propuestas a implementar, mecanismos y estrategias participativas, personal requerido, indicadores de

seguimiento (calificables y cuantificables) y monitoreo, responsable de la ejecución, cronograma y presupuesto.

### **2.3.10.2 Plan de seguimiento y monitoreo**

Se formularon los planes de seguimiento y monitoreo de los planes y programas formulados en el PMA, que permiten verificar su validez y confiabilidad. Estos planes se formularon para un medio y en ellos se precisan las acciones necesarias para obtener la medición de los indicadores propuestos, los criterios de aplicación y la justificación o representatividad de estos.

Mediante el plan de seguimiento y monitoreo se busca analizar la eficiencia y eficacia de los programas planteados en el Plan de Manejo Ambiental, lo cual permite, si se requiere, ajustarlos a las nuevas condiciones que se vayan presentando durante las diferentes etapas del proyecto, para alcanzar los objetivos definidos en cada uno de los programas y proyectos diseñados.

Para formular el programa de seguimiento y monitoreo se partió de los indicadores formulados en los diferentes programas que integran el plan de manejo ambiental, y se propusieron acciones orientadas a lograr el cumplimiento de las metas trazadas en los mismos.

Los planes de seguimiento y monitoreo fueron elaborados en forma de fichas, con una codificación y estructuración que posibilitan su control y actualización; en estas fichas se precisan: objetivos, componentes y factores ambientales a monitorear, parámetros e indicadores con su respectivo nombre, unidad de medida, frecuencia de medición o cálculo, duración del monitoreo y definición, pertinencia, fórmula y metodología de medición o cálculo, fuentes de información de las variables, responsable de la medición, criterios para el análisis de resultados y localización de los sitios de monitoreo cuando aplique, con las respectiva ubicación cartográfica.

#### **2.3.10.2.1 Seguimiento y monitoreo a la tendencia del medio**

Se formuló el seguimiento de la tendencia de cada medio, mediante un sistema de indicadores que permiten monitorear los componentes ambientales (de acuerdo con el análisis de impactos) y obtener una visión de la calidad del medio y su tendencia.

### **2.3.11 Plan de gestión del riesgo**

La valoración del riesgo comprende la identificación de escenarios, emergencias, eventos amenazantes, elementos vulnerables y finalmente la evaluación del riesgo. A continuación, se describe la metodología del IDIGER, la cual será utilizada para el análisis de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas, en cuanto a la determinación de la vulnerabilidad se implementará la Metodología denominada análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas de Vera y Albarracín.<sup>181</sup> Y finalmente, evaluando en conjunto los resultados obtenidos para las amenazas y la vulnerabilidad se conocen los riesgos asociados a las actividades desarrolladas en el día a día para el proyecto.

<sup>181</sup> (RODRÍGUEZ & CALDERÓN, 2017)



**Figura 2.38 Metodología de valoración**  
Fuente: Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

### 2.3.11.1 Probabilidad de ocurrencia

La clasificación de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas se relaciona con la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseado. Esta probabilidad de las características del evento, de las condiciones especificadas en la construcción del proyecto vial y de su interacción con el entorno.

Para la clasificación de las amenazas identificadas en el proyecto, se desarrollarán cinco (5) categorías a las cuales se les asignó un puntaje o clasificación, con lo cual se clasifican la mayor o menor probabilidad de ocurrencia. Entre más alta la calificación, mayor será la probabilidad de que se materialice la amenaza. (Ver Tabla 2.103)

**Tabla 2.103 Criterios de clasificación de amenazas**

Nivel de amenaza	Nivel de probabilidad de ocurrencia	Criterio	Color asignado	Calificación
Muy baja	Improbable	Más de cinco años para una ocurrencia	Verde claro	1
Baja	Remoto	Hasta un (1) evento cada 5 años	Verde	2
Media	Ocasional	Hasta un (1) evento cada año	Amarillo	3
Alta	Moderado	Hasta un (1) evento al mes	Naranja	4
Muy alta	Frecuente	Más de un evento al mes	Rojo	5

Fuente: IDIGER, 2012. Modificado por Alternativa Ambiental S.A.S, 2025.

### 2.3.11.2 Evaluación de la vulnerabilidad

Para realizar el análisis y evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos identificados dentro de las áreas de afectación para cada evento amenazante, se empleó el modelo cuantitativo y cualitativo de la Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación,

remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas de Vera y Albarracín<sup>182</sup>, la cual esta soportada en un marco teórico holístico y en el uso de sistemas de información geográfica levantada a partir de la línea base del proyecto.

De acuerdo con esta metodología la vulnerabilidad global está en función de tres componentes principales:

**Vulnerabilidad por exposición (VE):** factor de vulnerabilidad que se refiere al nivel donde ecosistemas, población, infraestructuras y sistemas de producción se encuentran en zonas de incidencia potencial de las amenazas consideradas en el análisis.

**Vulnerabilidad por fragilidad (VF):** hace referencia al nivel de susceptibilidad intrínseca de los elementos expuestos a ser afectados por una magnitud estimada de la amenaza; los componentes de la fragilidad son el físico, el socioeconómico y el ambiental.

**Vulnerabilidad por capacidad de adaptación y respuesta (VCAyR):** Tiene que ver con la posibilidad de las comunidades para atender, asumir, recuperarse y adaptarse ante grandes variaciones en sus condiciones normales de vida, producto de un desastre.

En la Tabla 2.104 se presenta las funciones propuestas para estimar cada una de las variables consideradas, así como cada uno de los componentes de los factores de vulnerabilidad identificados.

**Tabla 2.104 Funciones para la estimación de la vulnerabilidad y sus componentes**

Tipo de vulnerabilidad	Función
Vulnerabilidad global (V)	$V = VE + VF + VCAyR$ <p style="text-align: center;">3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Vulnerabilidad por exposición (VE)</li> <li>-Vulnerabilidad por fragilidad (VF)</li> <li>-Vulnerabilidad por capacidad de adaptación y respuesta (VCAyR)</li> </ul>
Vulnerabilidad por exposición (VE)	$VE = VEE + VEI + VESP + VEP$ <p style="text-align: center;">4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Vulnerabilidad por exposición de los ecosistemas (VEE)</li> <li>-Vulnerabilidad por exposición de la infraestructura (VEI)</li> <li>-Vulnerabilidad por exposición de los sistemas de producción (VESP)</li> <li>-Vulnerabilidad por exposición de la población (VEP)</li> </ul>
Vulnerabilidad por fragilidad (VF)	$VF = VFF + VFSE + VFA$ <p style="text-align: center;">3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Vulnerabilidad por fragilidad física (VFF)</li> <li>-Vulnerabilidad por fragilidad socioeconómica (VFSE)</li> <li>-Vulnerabilidad por fragilidad ambiental (VFA)</li> </ul>
Vulnerabilidad determinada por la capacidad de adaptación y respuesta (VCAyR)	$VCAyR = VCAyRACE + VCAyRCPO + VCAyGGT$ <p style="text-align: center;">3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Vulnerabilidad ahorro y capacidad de endeudamiento (VCAyRACE)</li> <li>-Vulnerabilidad por capacidad de respuesta de la organización (VCAyRCPO)</li> <li>-Vulnerabilidad por la Gobernanza y capacidad de gestión (De Respuesta - VCAyGGT)</li> </ul>

<sup>182</sup> Ibid.

Fuente: Vera y Albarracín, 2017. Modificado por Alternativa Ambiental S.A.S, 2025.

A continuación, en la Tabla 2.105 se presentan las variables e insumos de la línea base y cartografía que se utilizaron para calcular las valoraciones de la vulnerabilidad por exposición, fragilidad y capacidad de adaptación y respuesta, donde finalmente se calcula la vulnerabilidad global para cada amenaza identificada.

**Tabla 2.105 Definición de variables e insumos para la estimación de la vulnerabilidad y sus componentes**

<b>Tipo de Vulnerabilidad</b>	<b>Componente de vulnerabilidad</b>	<b>Variables</b>	<b>Insumo requerido.</b>
Exposición (VE)	Vulnerabilidad por exposición de los ecosistemas (VEE)	Bosques naturales	Caracterización de ecosistemas estratégicos y shapefile de coberturas.
		Sistema de parques naturales	
		Humedales	
		Paramos	
	Vulnerabilidad por exposición de la infraestructura (VEI)	Vías y puentes	Caracterización social y shapefile de equipamiento e infraproyecto.
		Líneas de acueducto, energía, alcantarillado, combustible	
Equipamiento básico (hospitales, escuelas, ancianatos, mataderos, etc.).			
Infraestructura del proyecto			
Vulnerabilidad por exposición de los sistemas de producción (VESP)	Sistemas productivos (Cultivos, plantaciones forestales, áreas de producción industrial, minería entre otras).	Caracterización social, shapefile de coberturas vegetales, infra proyecto	
Vulnerabilidad por exposición de la población (VEP)	Viviendas y asentamientos humanos	Shapefile de asentamientos.	
Fragilidad (VF)	Vulnerabilidad por fragilidad física (VFF)	Sismo resistencia, materiales de construcción y estado de las viviendas aisladas y características estructurales de la infraestructura del proyecto.	Caracterización socioeconómica, componente espacial
	Vulnerabilidad por fragilidad socioeconómica (VFSE)	Condiciones de vida de la población.	Necesidades básicas insatisfechas (NBI)
	Vulnerabilidad por fragilidad ambiental (VFA)	Conflictos por uso del suelo en el área de intervención del proyecto.	Shapefile de conflicto por usos del suelo
Nivel de deforestación en el área de intervención del proyecto.		Shapefile de coberturas vegetales	
Adaptabilidad (VCAyR)	-Vulnerabilidad ahorro y capacidad	Viabilidad financiera del ente territorial	Desempeño fiscal del municipio o ciudad.

Tipo de Vulnerabilidad	Componente de vulnerabilidad	Variables	Insumo requerido.
	de endeudamiento (VCAyRACE)		
	Vulnerabilidad por capacidad de respuesta de la organización (VCAyRCPO)	Capacidad operativa, administrativa y física de la concesión vial.	Metodología IDIGER.
	Gobernanza y capacidad de gestión (de respuesta) (VGCG)	Existencia e implementación de la gestión del riesgo en los planes estratégicos.	Si está implementada en POT, Plan de desarrollo y POMCA

Fuente: Vera y Albarracín, 2017. Modificado por Alternativa Ambiental, 2025.

Con el resultado del análisis de calificación se obtuvieron niveles de evaluación conforme a la escala de valoración presentada en la Tabla 2.106, adaptada a partir de la metodología de Vera y Albarracín.

**Tabla 2.106 Convenciones y valoración para la vulnerabilidad**

Categoría	Calificación	Color
Baja	1,00 - 1,69	
Media	1,70- 2,49	
Alta	2,50 - 3,00	

Fuente: Vera y Albarracín, 2017.

Finalmente, para el cálculo del nivel del riesgo se asigna un único valor a la vulnerabilidad para el cruce con la probabilidad de ocurrencia.

**Tabla 2.107 Cálculo nivel de vulnerabilidad**

Categoría	Calificación	Color
Baja	1	
Media	2	
Alta	3	

Fuente: Vera y Albarracín, 2017.

### 2.3.11.3 Análisis de riesgo

De acuerdo con la metodología propuesta se asignan calificaciones de amenaza y vulnerabilidad para cada uno de los eventos de tipo natural, antrópico y operacional identificados para el proyecto vial, definiendo de esta forma el riesgo como la relación entre la amenaza y la vulnerabilidad.

$$R = A * V$$

Donde,

R= Valor cualitativo del riesgo

A= Probabilidad de ocurrencia de una amenaza

V= Vulnerabilidad global

Una vez calificadas la amenaza y vulnerabilidad se efectúa la calificación del riesgo para cada evento, de acuerdo con la ecuación anterior, se utiliza para ello la matriz base de calificación de riesgo (Ver Tabla 2.108), en la cual se multiplica la amenaza en términos del marco temporal por la vulnerabilidad, y se obtiene la calificación del nivel del riesgo como se muestra en Tabla 2.109.

**Tabla 2.108 Matriz base de reclasificación del riesgo según el marco temporal**

Amenaza (Probabilidad de ocurrencia)	5	Frecuente	1.0	2	3
	4	Moderado	0.8	1.6	2.4
	3	Ocasional	0.6	1.2	1.8
	2	Remoto	0.4	0.8	1.2
	1	Improbable	0.2	0.4	0.6
			Baja	Media	Alta
			1	2	3
			Vulnerabilidad		

Fuente: Revista EPM. El Concepto del riesgo ambiental y su evaluación. Julio Eduardo Zuluaga U y Jorge Alonso Arboleda G. Medellín, volumen 15, No 3, enero-abril de 2005. Modificado por Alternativa Ambiental S.A.S., 2025

**Tabla 2.109 Clasificación del nivel del riesgo**

Calificación	Indicador		Descripción
1-3	Bajo	Aceptable	Los eventos ubicados en esta área de la matriz no presentan un riesgo significativo, lo que no amerita la intervención inmediata, pero requieren acciones preventivas sobre los elementos vulnerables considerados en el escenario.
4-6	Medio	Tolerable	Los eventos agrupados en esta área implican el desarrollo de actividades que disminuyen el riesgo, aunque tiene un nivel de prioridad de segundo orden. Se requiere definir una estrategia y procedimiento para atender emergencias ocasionados por estos eventos.
>6	Alto	Inaceptable	Los escenarios ubicados en esta área requieren el desarrollo de acciones prioritarias e inmediatas de protección y prevención debido al alto impacto que tendrían sobre el entorno. Se requiere una estrategia y un procedimiento para atender las emergencias ocasionadas para estos eventos, efectuar simulacros, jornadas de capacitación de las brigadas y dotación de elementos necesarios para su atención.

Fuente: Revista EPM. El Concepto del riesgo ambiental y su evaluación. Julio Eduardo Zuluaga U y Jorge Alonso Arboleda G. Medellín, volumen 15, No 3, enero-abril de 2005. Modificado por Alternativa Ambiental S.A.S., 2025.

#### 2.3.11.4 Plan de desmantelamiento y abandono

En el plan se definen las actividades y obras a llevar a cabo para el desmantelamiento, abandono y restauración final de las obras temporales objeto del proyecto Variante Mutatá. Este se realizó de acuerdo con los lineamientos establecidos en los Términos de Referencia (TdR) para la

Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos (M-M-INA-02) Versión No. 2, adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0751 del 26 de marzo de 2015. Asimismo, se consideraron las indicaciones propuestas en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.

### **2.3.12 Otros planes y programas**

#### **2.3.12.1 Plan de compensación por pérdida de biodiversidad**

Como se ha mencionado anteriormente, se solicita la tala de individuos arbóreos dentro de esta solicitud, cumpliendo con las medidas establecidas en los términos de referencia. La metodología generada consiste en tomar medidas para la compensación del componente biótico afectado, teniendo una visión ecosistémica, en donde no se observa los impactos individuales sino generales, permitiendo reducir las problemáticas que se pueden causar en ecosistemas estratégicos.

Para los planes de compensación se requiere instaurar lineamientos técnicos y procedimientos para la compensación del componente biótico (fauna, flora, cobertura vegetal y contexto paisajístico). Durante la realización del plan de compensación, se procura cuantificar la compensación por el tipo de ecosistema, respondiendo al ¿Qué? ¿Cuánto?, ¿Dónde? y ¿Cómo? Compensar, indicados en la resolución 0256 del 22 de febrero de 2018 por la cual se adopta la actualización del Manual de compensaciones ambientales del componente biótico, y que en su artículo 12 deroga la Resolución No 1517 de agosto de 2012.

Siguiendo los cuatro (4) aspectos fundamentales para la determinación, cuantificación y asignación de las compensaciones por los impactos residuales del proyecto, se identifican las áreas a afectar para responder a la pregunta ¿Qué compensar?, seguido del cálculo del área a compensar para definir ¿Cuánto compensar?; posteriormente, a partir de la identificación de áreas de equivalencia ecológica se seleccionan sitios potenciales para la implementación del plan, en respuesta a ¿Dónde compensar?; por último, se definen las acciones, modos, mecanismos y forma para determinar ¿Cómo compensar?.

Es este sentido, se describen brevemente la metodología empleada para el desarrollo del Plan de Compensación del Medio Biótico respondiendo las preguntas planteadas anteriormente.

#### **2.3.12.2 Que compensar**

El que compensar es el área que será impactada por el proyecto, en donde se identifican los ecosistemas de la zona y los ecosistemas equivalentes, adicional a esto, se debe caracterizar las funciones ecosistémicas del lugar, y la composición de especies.

Para realizar el plan de compensación se requiere conocer el área que va a ser afectada, distinguir sus biomas y ecosistemas presentes en el lugar. El plan de compensación se hará en miras de la No Pérdida Neta de La Biodiversidad, intentando alinear las cargas entre la pérdida de la biodiversidad generada en el proyecto y las medidas de compensación que tienen que ser permanentes en el tiempo; en la mitigación de los impactos se intenta reducir o corregir los daños que pueden ser generados por el proyecto adentrándose en la caracterización y línea base del

medio biótico, la valoración de los impactos ambientales del proyecto y el reconocimiento de otros impactos que se podrían producir.

### **2.3.12.3 Cuanto compensar**

El cuanto compensar está asociada al área que se va a impactar multiplicado por un factor de compensación que se calcula a partir de la sumatoria de cuatro (4) criterios, que dan cuenta del estado de dichas áreas en cuanto a su nivel de conservación, composición de especies, tamaño y grado de transformación.

Los criterios definidos para el cálculo del factor son: 1) representatividad del ecosistema en el sistema nacional de áreas protegidas (SINAP); 2) rareza; 3) remanencia y; 4) tasa de transformación anual. Los valores del factor de compensación se encuentran entre 2 y 10, así: para el caso de ecosistemas naturales pueden estar entre 4 a 10 y para ecosistemas con vegetación secundaria o en transición entre 2 a 5.

### **2.3.12.4 Donde compensar**

La compensación se realiza en un área o áreas ecológicamente equivalentes a las áreas impactadas mediante acciones de preservación, restauración en cualquiera de sus enfoques y uso sostenible. En todo caso el uso sostenible se considerará como acción complementaria y debe incorporar atributos medibles en tamaño, composición y riqueza de especies, contexto paisajístico y funcionalidad ecológica al área impactada.

El plan de compensación debe realizarse en la misma zona y subzona hidrográfica y en los biomas equivalentes donde se ejecutó el proyecto. Para los proyectos que afecten más de un ecosistema, el área total de compensación se deberá realizar en los ecosistemas con mayor área impactada por el proyecto, o por los ecosistemas que arrojen el mayor factor de compensación o en los ecosistemas en el que se genere la mayor adicionalidad con la implementación de la compensación.

### **2.3.12.5 Acciones de compensación**

Las acciones se realizan con base a las diferentes estrategias para garantizar la compensación de los impactos generados por los proyectos, estas acciones están enfocadas en la restauración, rehabilitación, recuperación y el uso sostenible de la biodiversidad. Las acciones de compensación pueden ser complementarias, todo enfocado a asegurar la ganancia en biodiversidad, adicionalidad y que esté de acuerdo con el régimen de usos establecidos en los planes de manejo de las áreas protegidas. La implementación de las acciones tiene que mantenerse hasta que se demuestren los objetivos propuestos en términos de resultados (indicadores).

Las acciones para los planes de compensación para el componente biótico están dadas por: la preservación la cual es una estrategia que permite proteger los ecosistemas naturales, la restauración de los ecosistemas, la cual busca mejorar las coberturas para llegar a alcanzar una línea base de ecosistemas de referencia; y por último el uso sostenible de los recursos, el cual, es una acción complementaria de la preservación y restauración de ecosistema, este tiene un enfoque productivo sostenible que contribuye a la equidad social, pero es de suma importancia que este se desarrolle como parte de los procesos de restauración.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aranda-Sánchez, J. M. (2012). *Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Mexico: Conabio.
- Aguiló M. (1981). *Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid.
- Alconada Magliano, M. M., Damiano, F., & Fagundo Castillo, J. R. (2016). *Estudio del suelo en el paisaje regional como base para definir su manejo Agropecuario - Forestal*. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Alencar, K. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó- Pernamcuco, Brasil. . *Revista geográfica de América Central*.
- Amaya, G., Tamayo, C. R., Vélez, M. V., Vélez, J. I., & Álvarez, O. D. (2009). Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá Antioqueño-Colombia. *Avances en recursos hidráulicos*, 19.
- ANLA. (2016). *Guía para el diligenciamiento y presentación del modelo de datos geográficos*. Bogotá.
- ANLA. (2018). *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*.
- APHA. A. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th Ed*. Washington, D. C.: American Public Health Association.
- B. D., Stribling, J.B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841- B-99-002. Chapter 7. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water. U.S.*
- Barco, O., & Cuartas, L. (1998). *Estimación de la Evaporación en Colombia*. . Medellín: Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- BENNET, A. F., & Paisaje., E. E. (1998). El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Trad. José Blanch. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. 20-30.
- Brown, J. H. (1968). Activity Patterns of Some Neotropical Bats. *Journal of Mammalogy*, 49(4), 754-757.
- Bureau of Land Management, United States Department of Interior . (1980). *Visual Simulation Techniques* . Washington D.C : Government Printing Office .
- CABRERA, H. W., & WALLACE, R. (2007). Densidad y distribución espacial de palmeras arborescentes en un bosque preandino - amazónico de Bolivia. *Ecología en Bolivia* .
- Cairns, M. B. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*.
- Cesar, S. M. (1980). Estudio de Caracterización Ecológico Silvicultural del Bosque Copal Jenaro Herrera. *Facultad de Ingeniería Forestal*.

- Chao, A. M. (2016). Obtenido de NEXT (¡Nterpolation and EXTrapolation): [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software%20download/).
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Cimorelli, A. J., & Perry, S. G. (2004). *AERMOD : DESCRIPTION OF MODEL FORMULATION*.
- CITES. (2021 ). *Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres*. Obtenido de CITES: <https://cites.org/esp/app/appendices.php>
- Clarke, R. T. (Septiembre de 1983). Formely Hydrological Science Bulletin. *Hydrological sciences journal des sciences hydrologiques, Hydrological Sciences Journal*, 28(3). doi:<https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/02626668309491974>
- Colwell, R. K. (2013). *estimates, version v.9.1.0: statistical estimation of species richness and shared species from samples, sotware and user's guide*. Connecticut: University of Connecticut.
- Concejo Municipal de Mutatá. (2016). *Acuerdo No. 011 de 2016*. Mutatá.
- CONESA, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Mundi Prensa.
- CORTOLIMA. (2009). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las quebradas las Panelas y la Balsa*. Ibagué: Corporación Autónoma Regional del Tolima.
- Cottam, G. &. (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*.
- Crump, M. L., & Scott Jr., N. J. (1994). Visual encounter surveys. En W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. Hayek, & M. S. Foster (Edits.), *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians* (págs. 84-92). Washington and London: Smithsonian Institution Press.
- Curtis, J. T. (1951). An upland forest continuum in tge prairie-forest border region of Winsconsin. *Ecology*.
- Das, B. M. (2015). *Principles of Foundation Engineering (8th Ed)*. Cengage Learning.
- Díaz, M. M., Solari, S., Aguirre, L. F., S. Aguiar, L. M., & Barquez, R. M. (2016). *Clave de identificación de los murciélagos de sudamérica*. Tucumán, Argentina: PCMA (Programa de Conservación de los murciélagos de Argentina).
- Díaz, M. M., Solari, S., Gregorin, R., Aguirre, L. F., & Barquez, R. M. (2021). *Clave de identificación de los murciélagos neotropicales*. Tucumán, Argentina: PCMA (Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina).
- Dirección de Geoamenazas, Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:25.000*. Bogotá: SGC.
- Espinosa, M. I., Sanabria, O., Moreno, L. M., Vilorio, T., Naranjo, G., Charris, J. C., & Tortello, M. E. (2023). *GBIF.org*. Obtenido de Monitoreos de Fauna y Flora en áreas biosensoras y de

- rehabilitación de la Mina Calenturitas, 2020-2022. Version 1.1. Grupo Prodeco:  
<https://doi.org/10.15472/bztp0t>
- ESRI, Maxar Technologies. (2021). *World Imagery [Mapa base] en el municipio de Mutatá, Antioquia*. Obtenido de <https://www.esri.com>
- Etter, A. (1991). *Introducción a la ecología del paisaje. Un marco de integración para los levantamientos ecológicos*. Bogotá.
- Fattorelli, S. & Fernandez, P. (2011). *Diseño Hidrológico Edición Digital*. Zaragoza, España.
- Finol Urdaneta, H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. *Revista Forestal Venezolana*.
- Foster, S., & Hirata, R. (1988). *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences.
- Gobernación de Antioquia. (2012). *Cartoantioquia: Ortofotografías del departamento de Antioquia*. Medellín.
- Gonzalez, A. (1999). *Estimativos de Parámetros Efectivos de Resistencia con el SPT*. Bogotá: X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana - SCI - SCG.
- GRADSTEIN, S. N. (2003). *A Protocol for Rapid And Representative Sampling of Vascular and Non-Vascular Epiphyte Diversity of Tropical Rain Forest*. Selbyana.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., Hernández-García, M. Á., & Sánchez-González, A. (2003). Ecología de las plantas epifitas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 9, 101-110.
- Hammer, O., & Harper, D. &. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*.
- HOLDRIDGE, L. (1978). *Ecology based on life zones*. Inter-American Institute for Cooperation in Agriculture Press. San José.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*.
- IDEAM. (2013). *Lineamiento conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA*.
- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2023). *Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (Versión 1,2). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia*.
- IGAC. (2010). *Grupo Interno de trabajo levantamiento de suelos. Instructivo para los levantamientos de suelos, manual de códigos. Versión 1*. Bogotá: El Instituto.

- INERCO Consultoría Colombia. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de la Variante Mutatá (UF4), para el proyecto Autopista al Mar 2*. Bogotá.
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Ministerio de transporte.
- Jaramillo Uribe, M., Vélez Upegui, J. I., & Vélez Otálvaro, M. V. (2004). *Estimación de caudales mínimos usando un modelo distribuido de tanques*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Jaramillo, R. A., & Cháves, C. B. (1988). Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. Cenicafé.
- Johansson, D. (1974). Ecology of vascular epiphytes in West African rain forest. Uppsala.
- KREBS, C. (1985). *Ecología: estudio de la distribución y la abundancia*. Mexico: Editorial Harla.
- LANDSAT/Google Earth. (2020). *Imagen satelital de Mutatá, Antioquia. Extraída de Google Earth*. Obtenido de Google Earth: <https://earth.google.com>
- Llano Gutierrez, S. (2003). *Hydraulics of stepped structure: Importance of flow regimes on stepped chutes and practical application in developing countries*. Obtenido de Thesis Master of Science, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, UNESCO-IHE Institute for Water Education: <https://cdm21063.contentdm.oclc.org/digital/collection/masters2/id/43097/rec/5>
- MADS . (2017). *Criterios Técnicos para el uso de Herramientas Económicas en Proyectos, Obras o Actividades Objeto de Licenciamiento Ambiental*.
- MADS. (2018). Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.
- MADS. (2019). *Metodología para la caracterización de flora en veda*. Bogota DC.
- MADS;ANLA. (2015). *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de Carreteras y/o Túneles*. Bogotá D.C.
- MADS;ANLA. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales*. Bogotá D.C.
- Magurran, A. E. (1998). Ecological diversity and its measurement. *Princeton university press*.
- Magurran, A. E. (2011). Biological diversity: frontiers in measurement and assessment. *Oxford University Press*.
- Maly, M. S., & Cranford, J. A. (1985). Relative capture efficiency of large and small Sherman live traps. *Acta Theriologica*.
- Mammal Diversity Database. (13 de Julio de 2024). *Mammal Diversity Database (Version 1.13)*. Obtenido de Mammal Diversity Database (Version 1.13): <https://doi.org/10.5281/zenodo.10595931>
- Margalef, R. (1994). La ecología, entre la vida real y la física teórica. *Investigación y ciencia*.

- MAVDT. (2004). *Resolución 865. Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.* Bogotá D.C.: Ministerios de Ambiente.
- McCuen, R. (2003). *Modeling Hydrologic Change. Statistical Methods.* Lewis Publisher.
- Medianero, E. V. (2003). Diversidad de insectos minadores de hojas y formadores de agallas en el dosel y sotobosque del bosque tropical. *Acta zoológica mexicana.*
- Mendoza, L., & Sánchez, F. (2014). Mamíferos de la hacienda Las Mercedes, un área rural al norte de Bogotá, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 18(2), 157-171.
- Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2015). *Términos de Referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Construcción de Carreteras y/o Túneles.* Bogotá.
- Monsalve, G. (2009). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Øyvind Hammer, D. A. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica, Volumen 4*(No. 1), 9 p.
- Pettitt, A. (1976). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Society: Series C (Applied Statistics)*, 126-135.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia.*
- Presley, S. J., Willing, M. R., Castro-Arellano, I., & Weaver, S. C. (2009). Effects of Habitat Conversion on Temporal Activity Patterns of Phyllostomid Bats in Lowland Amazonian Rain Forest. *Journal of Mammalogy*, 90(1), 210-221.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología colombiana, Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis.* Bogotá, Colombia. 293 p.: Panamericana, Formas e Impresos S.A.
- Ramírez-Chaves, H., & Suárez-Castro, A. F. (2014). Adiciones Y Cambios a La Lista De mamíferos De Colombia: 500 Especies Registradas Para El Territorio Nacional. *Mammalogy Notes*, 31-34.
- Rangel-Ch, J. O. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia.
- Reyes, A., Barroso, F., & Carvajal, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas.* Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- RNOA. (14 de Marzo de 2024). *Red de observadores de aves RENOA.* Obtenido de Red de observadores de aves RENOA: [www.rnoa.org](http://www.rnoa.org)
- Rodríguez, G. E. (2013). Guía de cubicación de la madera. Corporación Autónoma Regional del Risaralda–CARDER, Unión Europea, Grafica Budas SAS Pereira.
- RODRÍGUEZ, J. M., & CALDERÓN, A. P. (2017). *Unimilitar.* Obtenido de Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos

torrenciales en cuencas hidrográficas.:  
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/>

- Rojo, J. D. (2000). *Algunas metodologías para cuantificar la evapotranspiración media multianual en Colombia*. Bogotá.
- Rueda-Almonacid, J. V., Lynch, J. D., & Amézquita, A. (Edits.). (2004). *Libro Rojo de Anfibios de Colombia*. Bogotá D.C.: ICN-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Conservación Internacional Colombia.
- Sarmiento Ortiz, L. H. & Vélez Torres, G. S. (2001). *Hidrología aplicada*. Bachelor's thesis.
- Schumm, S. (1977). *The fluvial system*. Nueva York: Jhon Wiley & Sons.
- SGC. (2003). *Leyenda de Vulnerabilidad*.
- SIB Colombia. (14 de marzo de 2024). *Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB)*. Obtenido de SiB Colombia: <https://biodiversidad.co>
- Simmons, N. B., & Voss, R. S. (1998). The mammals of Paracou Guiana, a Neotropical lowland rainforest fauna. Part 1, Bats. *Bulletin of the American Museum of Natural History*(237), 3-4.
- Singh, V. (2016). *Hanbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Education.
- SM 10500 B, C. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder. (s.f.).
- SM 10600 B, C, D. Roldan. Gabriel, Ramírez. Jhon J. (2008). *Fundamentos de Limnología Tropical*. Universidad de Antioquia. Colombia. Segunda edición.
- Smith, R., & Campuzano, C. (s.f.). *ANÁLISIS EXPLORATORIO PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS Y TENDENCIAS EN SERIES HIDROLOGICAS. XIV SEMINARIO NACIONAL DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA*.
- Solari, S., Muñoz Saba, Y., Rodríguez Mahecha, J. V., Defler, T. R., Ramírez Chaves, H. E., & Trujillo, F. (2013). Riqueza, Endemismo y Conservación de los Mamíferos de Colombia. *Mastozoología Neotropical*, 20(2), 301-365.
- Suárez-Castro, A. F., & Ramírez-Chaves, H. (2014). *Los carnívoros terrestres y semiacuáticos continentales de Colombia*. Bogota: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley & Sons, Inc.
- Torres, J. A. (2018). Proyección florística para la restauración vegetal de la cabecera del nacimiento de la quebrada "Las Pilanderas"- Barrio La Cumbre- Floridablanca, mediante el sistema de zonas de vida de Holdridge. *Grupo de Investigación*.
- Tóth, J. (2000). *Las aguas subterráneas como agente geológico: causas procesos y manifestaciones*. Boletín Geológico y Minero, Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- UICN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2021-3*. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/>.



AUTOPISTAS URABÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN  
DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN  
DE LA VARIANTE MUTATÁ (UF4) DE LA CONCESIÓN  
AUTOPISTA AL MAR 2"



ALTERNATIVA AMBIENTAL S.A.S.

- United States Environmental Protection Agency. . (2017). *Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models [Internet]*.
- UT. ESTUDIOS AMBIENTALES MAR2. (2017). *Estudio de impacto Ambiental para la construcción de la variante Mutatá (UF-4) para el proyecto Autopista al Mar 2*. Bogotá.
- Vargas Quintero, M. C. (2010). *Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de ls Acuíferos a la Contaminación*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Vargas, R., & Diaz-Granados, M. (1997). *Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Universidad de Los Andes.
- Vargas-Salinas, F., Muñoz-Avila, J. A., & Morales-Puentes, M. E. (2019). *Biología de Anfibios y Reptiles en el Bosque Seco Tropical del Norte de Colombia*. Tunja: Editorial UPTC.
- Vélez, J. I. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- VILLAREAL, H. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia.
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. M. (2004). Programa de inventarios de biodiversidad. En *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (pág. 236). Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
- VILLAREAL, Héctor. et al. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de ISBN 8151-3
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey*. (2nd ed.). Academic Press.
- World Bank Group & Solargis. (12 de 12 de 2024). *Global Solar Atlas*. Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/map>
- Yeomans, W. (1986). *Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment*. New York: John Wiley and sons.
- Yepes, A. P. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. . IDEAM.