



**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA**

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE APP No 004 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016

ESTUDIOS, DISEÑOS, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DE LA AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ- GIRARDOT



Interventoría

CONSORCIO SEG-INCOPLAN



Concesionario



Visa:

Diseño y Construcción



Visa:

Emisor



Visa:

**G-CSM-000-UF2E-XXXXX-A-INF-INGET-10305-A1 CAPÍTULO 2
GENERALIDADES**

Rev.	Fecha	Descripción de la revisión
A0	2017-07-31	Primera Emisión
A1	2017-12-07	Segunda Emisión actualizada

Elaboró: Angélica CUBILLOS Fecha: 2017-12-07	Revisó y Aprobó: Margarita CARRASCO Fecha: 2017-12-07	Verificó: Mauricio MUÑOZ Fecha: 2017-12-07
Formato: Carta	Escala: N/A	Páginas: 1 / 126

Documento N°

Fase	Disciplina	Obra	Zona UF	PM	Sentido	Tipo	Emisor	Número	Rev.
G	CSM	000	UF2E	XXXXX	A	INF	INGET	10305	A1

DOCUMENTO PRELIMINAR SUSCEPTIBLE DE MODIFICACIÓN

PRELIMINAR

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

SECCIÓN MODIFICADA	OBSERVACIONES
Todas	De acuerdo a observaciones emitidas por CR40 a la Rev. A0

PRELIMINAR

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL- CAPÍTULO 2 GENERALIDADES
CONCESIONARIA VÍA 40 EXPRESS S.AS.
CONTRATO DE CONCESIÓN APP No. 4 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016**



Fuente: Concesionario Vía 40 Express

OBJETO: Ampliación Tercer Carril - Doble Calzada Bogotá – Girardot.

ALCANCE DEL PROYECTO: Estudios, Diseños, Construcción, Operación, Mantenimiento, Gestión Social, Predial y Ambiental de la Ampliación Tercer Carril – Doble Calzada Bogotá - Girardot, de acuerdo con el Apéndice Técnico 1 y demás Apéndices del Contrato.

TABLA DE CONTENIDO

2	GENERALIDADES.....	10
2.1	ANTECEDENTES	10
2.1.1	Justificación	10
2.1.2	Historia de las vías 4G.....	11
2.1.3	Potenciales implicaciones del proyecto	12
2.1.4	Estudios previos.....	12
2.1.5	Tramites anteriores	12
2.1.6	Permiso de investigación científica	13
2.1.7	Marco legal y normativo.....	13
2.2	ALCANCES	18
2.2.1	Limitaciones y/o restricciones del EIA	19
2.3	METODOLOGÍA.....	20
2.3.1	Área de Influencia	21
2.3.2	Caracterización del área de influencia	21
2.3.2.1	Medio abiótico	22
2.3.2.1.1	Geología	22
2.3.2.1.2	Geomorfología	22
2.3.2.1.3	Paisaje	22
2.3.2.1.4	Suelos y uso de la tierra	30
2.3.2.1.5	Hidrología.....	35
2.3.2.1.6	Calidad de agua.....	36
2.3.2.1.7	Usos del agua.....	44
2.3.2.1.8	Hidrogeología.....	46
2.3.2.1.9	Geotecnia.....	48
2.3.2.1.10	Atmósfera.....	49
2.3.2.2	Medio biótico.....	63
2.3.2.2.1	Ecosistemas terrestres	64
2.3.2.2.2	Ecosistemas acuáticos	89
2.3.2.3	Medio socioeconómico	93
2.3.3	Zonificación ambiental	95
2.3.4	Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales.	99
2.3.2.4	Captación de aguas superficiales continentales	99
2.3.2.5	Vertimientos:	99
2.3.2.6	Ocupación de cauces	99
2.3.2.7	Aprovechamiento forestal	99
2.3.2.8	Materiales de construcción	104
2.3.5	Evaluación Ambiental	104
2.3.2.9	Enfoque.....	105
2.3.2.10	Desarrollo de la Metodología.....	106
2.3.2.11	Definición de los Escenarios.....	106
2.3.2.12	Escenario sin Proyecto (Análisis de la tendencia).....	107
2.3.2.13	Escenario con Proyecto (Análisis del impacto)	108
2.3.6	Zonificación de manejo ambiental del proyecto	111
2.3.7	Evaluación económica en el proceso de evaluación de impacto ambiental	111
2.3.8	Planes y programas.....	112
2.3.8.1	Plan de Manejo Ambiental.....	112
2.3.8.2	Plan de Seguimiento y monitoreo.....	112
2.3.8.3	Plan de gestión del riesgo	113

2.3.8.3.1	Conocimiento del riesgo	113
2.3.8.3.2	Reducción del riesgo	119
2.3.8.3.3	Manejo de la contingencia	119
2.3.8.4	Plan de desmantelamiento y abandono	120
2.3.9	Otros planes y programas	120
2.3.8.5	Plan de inversión del 1%	120
2.3.8.6	Plan de compensación por pérdida de biodiversidad	120
2.3.10	Trabajos de campo medios abiótico, biótico y socioeconómico.....	121
2.4	EQUIPO PROFESIONAL PARTICIPANTE	122
ANEXOS		126

PRELIMINAR

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estudios previos adelantados.....	12
Tabla 2 Marco Normativo	13
Tabla 3 Calificación de la valoración del relieve	23
Tabla 4 Calificación de la valoración de la vegetación.....	23
Tabla 5 Calificación de la valoración de los cuerpos de agua	24
Tabla 6 Calificación de la valoración de los afloramientos rocosos	24
Tabla 7 Calificación de la valoración del uso del suelo.....	24
Tabla 8 Valoración de la calidad visual total	25
Tabla 9 Métricas de borde	26
Tabla 10 Métricas a nivel de clase	27
Tabla 11 Grado de fragmentación.....	28
Tabla 12 Resistencia de las coberturas para el área de influencia del proyecto.....	29
Tabla 13 Rangos del índice de conectividad para el área de influencia.....	30
Tabla 14 Usos de los suelos	32
Tabla 15 Tipos de conflictos de uso del suelo	33
Tabla 16 Parámetros de análisis de suelos.....	34
Tabla 17 Parámetros a monitorear en aguas superficiales.....	36
Tabla 18 Variables evaluadas y tipo de análisis realizado en laboratorio.....	42
Tabla 19 Parámetros a analizar de acuerdo con los TR y el Decreto 1076 de 2015	44
Tabla 20 Información de la balanza utilizada en laboratorio.....	54
Tabla 21 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio	57
Tabla 22 Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.....	59
Tabla 23 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006	61
Tabla 24 Estándares Máximos Permisibles para Emisión de Ruido.....	62
Tabla 25 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental	63
Tabla 26 Parámetros para las categorías fustal, latizal y brinzal.....	65
Tabla 27 Estadígrafos para el cálculo de error de muestreo.....	68
Tabla 28 Parámetros a evaluar a partir de la información recolectada en campo.....	69
Tabla 29 Coordenadas de los transectos realizados para la caracterización del área para la Unidad Funcional 2 del proyecto de ampliación del tercer carril de la vía Bogotá-Girardot.....	77
Tabla 30 Ubicación de metodologías empleadas para el registro de mamíferos por localidad en el Área de interés del Proyecto: Ampliación Tercer Carril - Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	79
Tabla 31 Estaciones de muestreo para caracterización ictiológica en el área de influencia del Tercer Carril de la Ruta 40	91
Tabla 32 Homologación de áreas definidas para la zonificación y su presentación en la geodatabase.....	96
Tabla 33 Matriz de superposición para obtención de zonificación.....	97
Tabla 34 Parámetros contemplados para el inventario forestal.....	100
Tabla 35 Índices Estructura Horizontal.....	102
Tabla 36 Índices estructura vertical.....	102
Tabla 37 Estadígrafos para el cálculo de error de muestreo.....	103
Tabla 38 Parámetros y coeficientes de Ponderación del Índice de Afectación Neta (IAN) en el escenario Sin Proyecto.....	107
Tabla 39 Coeficientes de Ponderación del Índice de Afectación Neta del Impacto (IANE) en el escenario con Proyecto.....	109
Tabla 40 Escala de frecuencia e intensidad.....	114
Tabla 41 Vulnerabilidad Física	116
Tabla 42 Vulnerabilidad social.....	117
Tabla 43 Vulnerabilidad Ambiental.....	117
Tabla 44 Mapa de Riesgos.....	118
Tabla 45 Categorías de aceptabilidad del riesgo.....	119
Tabla 46 Relación de los trabajos de campo para la elaboración del EIA.....	121
Tabla 47 Equipo de profesionales participantes en la elaboración del EIA.....	122

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Toma de muestras de agua superficial.....	39
Fotografía 2 Toma de mediciones <i>in situ</i>	39
Fotografía 3 Toma de muestra de coliformes y grasas y aceites.....	40
Fotografía 4 Toma de muestras de sedimentos, río Sumapaz.....	42
Fotografía 5 Realización de transectos de observación de aves y captura con redes de niebla.....	76
Fotografía 6 Toma de datos morfométricos de los individuos capturados.....	76
Fotografía 7 Instalación de Trampas Sherman y Tomahawk.....	85
Fotografía 8 Instalación de redes de niebla para captura de murciélagos.....	85
Fotografía 9 Toma de medidas de quirópteros capturados mediante las redes de niebla.....	86
Fotografía 10 Instalación de Cámara Trampa para la detección de mamíferos medianos y grandes.....	86
Fotografía 11 Registro de huella de mamíferos medianos en el Área de interés.....	87
Fotografía 12 Entrevistas informales a los pobladores locales para registrar presencia de la mastofauna presente en el área de interés.....	87

PRELIMINAR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Abordaje metodológico para la Elaboración del EIA.....	20
Figura 2 Síntesis metodología del paisaje.....	25
Figura 3 Matriz de decisión de conflictos de uso del suelo	33
Figura 4 Actividades de la etapa de preparación	38
Figura 5 Actividades de la etapa de preparación	41
Figura 6 Información contenida en el formulario único nacional de inventario de puntos de agua - FUNIAS.....	45
Figura 7 Esquema del Balance Hídrico	47
Figura 8 Esquema Muestreador Hi-Vol	53
Figura 9 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow.....	54
Figura 10 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO	54
Figura 11 Muestreador de Gases tipo RAC	55
Figura 12 Montaje del calibrador de burbuja	56
Figura 13 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron	57
Figura 14 Analizador automático de CO	57
Figura 15 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments.....	58
Figura 16 Ventana de inicio del software dBtrait.....	60
Figura 17 Diseño de las parcelas para las coberturas naturales	65
Figura 18 Ejemplo de formato de campo para caracterización florística	67
Figura 19 Ejemplo de perfil de vegetación a realizar por cobertura vegetal identificada. FUENTE: (Cantillo, Avella, & Rodríguez, 2005).....	72
Figura 20 Formulario de campo especies en veda.	73
Figura 21 Calendario Cultural.....	94
Figura 22 Línea de tiempo.....	94
Figura 23 Ficha servicios ecosistémicos	95
Figura 24 Áreas de sensibilidad ambiental.....	97
Figura 25 Secuencia de superposición de mapas para obtención del mapa final de zonificación	98
Figura 26 Formato digital a diligenciar para las parcelas principales de cada cobertura.	101
Figura 27 Enfoque de la ponderación en los indicadores	108
Figura 28 Enfoque de la ponderación metodología de impactos	110
Figura 29 Metodología Evaluación Económica De Impactos Ambientales.....	111
Figura 30 Actividades para el conocimiento del riesgo	113
Figura 31 Identificación de amenazas	114
Figura 32 Tipo de vulnerabilidad según el riesgo identificado	115
Figura 33 Esquema Vulnerabilidad	116
Figura 34 Proceso del análisis de riesgo.....	118

2 GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES

En marzo de 1998, el Instituto Nacional de Vías solicitó licencia ambiental para el proyecto denominado Mejoramiento de la Carretera Avenida Boyacá por Autopista Sur – Girardot, en jurisdicción de Bogotá D.C. y los departamentos de Cundinamarca y Tolima, con obras de rehabilitación y construcción con longitud aproximada de 119,2 kilómetros sobre terreno quebrado con elevaciones que oscilan entre los 2600, 2800 y 1900 m.s.n.m., aproximadamente.

1 A través de oficio de fecha 11 de Marzo de 1999, radicado ante el Ministerio de Medio Ambiente - MAVDT (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS), el Instituto Nacional de Vías –INVIAS- allegó para su evaluación el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental y posteriormente se allegó dicho estudio a las Corporaciones Autónomas en la jurisdicción del área del proyecto.

1 Por medio del concepto Técnico No. 98 de fecha 21 de enero de 2002, la subdirección de Licencias del MAVDT (Hoy Autoridad Nacional de licencias Ambientales – ANLA) indicó las obras a ejecutar, dentro de las que se encuentra el túnel del cañón del Sumapaz. En este concepto técnico se considera viable otorgar Licencia Ambiental al INVIAS para el mejoramiento de la carretera Bogotá – Girardot, la cual fue concedida mediante Resolución No. 0557 del 19 de junio de 2002, modificada por las Resoluciones No. 0789 del 16 de junio de 2003 y No. 1340 del 25 de julio de 2008 (MAVDT).

Por otro lado, de acuerdo con lo indicado en el plan básico de ordenamiento territorial - PBOT del municipio de Melgar, el área de estudio cuenta con potencial turístico; sin embargo, existen algunos factores que limitan el desarrollo y su imagen como destino recreativo, debido a falta de planificación, la alta tasa de población flotante y el crecimiento de la demanda de servicios, que tiende a desbordar la capacidad del municipio en diferentes ámbitos dentro de los que se incluye la movilidad (PBOT 2015).

1 2.1.1 Justificación

El Proyecto “ESTUDIOS, DISEÑOS, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DE LA AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ-GIRARDOT” UF2, perteneciente al consorcio Ruta 40 se ubica en los departamentos de Cundinamarca y Tolima. El proyecto se gesta a partir de la necesidad imperante de mejorar las condiciones del servicio, de seguridad vial y de ofrecer mayor confort a los usuarios de la infraestructura perteneciente a la autopista que de Bogotá conecta a Girardot. Así mismo, el proyecto busca armonizar las facilidades existentes y las condiciones operativas y de mantenimiento ejecutadas en la actualidad, con los más altos estándares aplicables, así como las especificaciones técnicas constructivas, de operación y de mantenimiento acogidas por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), dentro del Marco de la estructuración de la cuarta generación (4G) de concesiones viales en Colombia, lógicamente dentro de los criterios aplicables en las normas vigentes y de las particularidades que puedan existir¹.

De igual manera el crecimiento económico del país debe ser fundamentado en la sostenibilidad ambiental, como responsabilidad con las futuras generaciones, en búsqueda de una compatibilidad entre la producción económica y la preservación del medio ambiente, mediante el desarrollo de la infraestructura vial que brinda mejores condiciones para la integración y conectividad entre los territorios y la nación.

El presente documento contiene la información relevante de las actividades a desarrollar y sus características socio ambientales para solicitar la respectiva Licencia Ambiental ante la Autoridad Nacional de Licencias

¹ APÉNDICE TÉCNICO 1. Contrato celebrado entre ANI y Vía Express S.A.S.

Ambientales (ANLA). El Estudio de Impacto Ambiental se realizó en el marco de los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA- en Proyectos construcción de carreteras y/o túneles (MADS 2015), de igual manera se toma en cuenta la metodología general para presentación de estudios ambientales (MADS) y lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015, para solicitar la respectiva Licencia Ambiental ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

De esta manera el presente estudio pretende evaluar el estado actual del área donde se desarrollará el proyecto vial, relacionados con la demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales y culturales, para así formular las medidas de manejo, seguimiento y monitoreo, que permitan prevenir, corregir, mitigar y/o compensar los impactos ambientales o alteraciones que se podrían generar en los medios abiótico, biótico y socioeconómico por las actividades a desarrollar durante la etapa de construcción.



2.1.2 Historia de las vías 4G2

A partir del año 2013, el Gobierno de Juan Manuel Santos, emprendió la ejecución del ambicioso programa de infraestructura de vías de cuarta generación (4G). Este programa, pretende modernizar la infraestructura vial del país disminuyendo los costos, tiempos de transporte de personas y de carga, mejorando así la competitividad del país.

En total, son 19 proyectos de este tipo que se desarrollan a lo largo del territorio colombiano y se propone la terminación de la mayoría en el 2021; según la dimensión y la longitud de la vía se propone diferentes reducciones de tiempo en los desplazamientos, en promedio los recorridos en las vías de cuarta generación plantean una reducción de tiempo del 30 % cuando se complete la construcción de las carreteras de doble calzada.

La ejecución de este programa se realizará a través de la modalidad de Asociación Público Privada, la cual es un mecanismo que permite vincular el sector privado para proveer bienes y servicios asociados a una infraestructura.

La infraestructura vial se ha venido desarrollando a lo largo del tiempo en generaciones que agrupan los diferentes tipos de proyectos viales a nivel nacional, ejecutados de la siguiente manera:

La primera generación corresponde a las 9 vías que se entregaron en concesión entre 1994 y 1997, entre ellas: Bogotá – Villavicencio, Cartagena – Barranquilla, Bogotá - Siberia - La Punta - El Vino – Villeta, y Santa Marta - Riohacha – Paraguachón.

En la segunda generación solo hay una concesión que corresponde a la Malla Vial de Valle del Cauca y Cauca, cuyo contrato se firmó en el año 1999.

Por su parte, en la tercera generación, se incluyen 14 proyectos y en ellos que se encuentran la Ruta del Sol, la vía Briceño – Tunja – Sogamoso, la Zona Metropolitana de Bucaramanga, y Buga – Loboguerrero; y sus contratos se firmaron entre 2004 y 2013.

A partir de esta tercera generación de vías concesionadas que se empieza a hablar de la construcción de carreteras de doble calzada.

El objetivo del programa vial de cuarta generación es poner al día al país en materia de infraestructura de transporte, por lo que en este paquete de carreteras se incluyen tramos que hacen parte de concesiones de otras generaciones para su optimización.



Por otro lado es importante mencionar las demás acciones adelantadas y relacionadas con la UF2 como los diseños específicos, el contrato de concesión bajo esquema de APP No. 4 del 16 de octubre de 2016 entre la

² <http://www.defencarga.org.co>

Agencia nacional de Infraestructura – ANI y el concesionario Vía 40 Express S.A.S., en el corredor existente licenciado a través de la Resolución 0557 del 19 de junio de 2002 y modificada por la resolución 0784 del 16 de julio de 2003.

1 2.1.3 Potenciales implicaciones del proyecto

En el área de influencia del Proyecto existe actualmente la doble calzada Bogotá-Girardot la cual será objeto de ampliación y es de interés local, regional y nacional. De igual manera el proyecto se encuentra alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”, en cuanto a la competitividad e Infraestructura estratégicas necesarias para fomentar el crecimiento económico y el desarrollo humano que se derivan de una mayor integración y conectividad entre los territorios y la nación, por lo cual también se busca una armonía con las políticas, planes, programas y proyectos a nivel departamental y municipal.

1 2.1.4 Estudios previos

Como se mencionó anteriormente a partir del año 2013, se emprendió la ejecución del programa de infraestructura de vías de cuarta generación (4G), de esta manera en el área de influencia del proyecto “ESTUDIOS, DISEÑOS, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DE LA AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ- GIRARDOT” UF2, se han adelantado diferentes estudios relacionados con la vías de doble calzada construidas y concesionadas, así como otros tipos de proyectos adelantados por terceros, dichos estudios se relacionan a continuación:

Tabla 1 Estudios previos adelantados

Estudio	Año	Elaborado por
Avance del estudio de impacto ambiental – EIA UF2, ampliación tercer carril doble calzada Bogotá - Girardot	2017	INERCO
Túnel del Sumapaz: Informe geológico e Informe geotécnico.	2005	Concesión Autopista Bogotá – Girardot.
Estudio para la concesión de la carretera Av. Boyacá – Bosa – Granada – Girardot.	1998	INGETEC S.A. BATEMAN INGENIERIA LTDA. PIV INGENIERÍA LTDA.
Estudios asociados a concesiones mineras		
Estudios para el contrato de concesión (L 685) de materiales de construcción y material de arrastre. (Expedientes: ED3-091, DJO-142)	2003	Información de Catastro Minero
Estudios para licencia de exploración material de arrastre. (Expediente: 0875A-73)	2003	Información de Catastro Minero

1 2.1.5 Tramites anteriores

Para la ejecución del programa de infraestructura de vías de cuarta generación (4G) es necesario adelantar diferentes trámites ambientales previos a la construcción de este proyecto, de tal manera que se cuente con todos los permisos y autorizaciones ambientales para su ejecución, estos trámites corresponden a:

- Solicitud de levantamiento de veda

Para la UF2, es necesario adelantar la solicitud de levantamiento de veda de especies arbustivas ante la corporación autónoma regional del Tolima - CORTOLIMA y para especies de epifitas ante el MADS, previa a cualquier intervención.

- Solicitud de sustracción de reserva

Para este análisis se realizó la revisión de las fuentes de información oficial como el SIAC y SIGOT y la consulta a diferentes entidades, sin embargo para la UF2 no se presentan áreas de reservas forestales u otras áreas que requieran de un proceso de solicitud de sustracción de reserva.

- Solicitud de información a autoridades ambientales

Con el fin de contar con información actualizada sobre áreas del SINAP y SIRAP, ecosistemas estratégicos, ubicación de otros proyectos y demás información relevante, se enviaron comunicaciones a diferentes autoridades ambientales, en las cuales se solicita el concepto de la presencia de dichos ecosistemas estratégicos en sus jurisdicciones con respecto al área de influencia de la UF2, en el ANEXO A-1 se presentan las comunicaciones enviadas y las respuestas obtenidas a las mismas.



2.1.6 Permiso de investigación científica

Con respecto al levantamiento de información primaria, relacionada con la recolección de especímenes de especies silvestres con fines de elaboración de estudios ambientales, el presente estudio da cumplimiento a los requisitos establecidos por el Decreto 3016 del 27 de Diciembre de 2013, en cuanto a las metodologías de captura, preservación y movilización, establecidas para cada uno de los grupos biológicos estudiados. De esta manera, para la ejecución de dichas actividades se contó con el Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales, otorgado a INGETEC mediante Resolución 1013 de 19 de agosto de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS y modificada mediante resolución 0434 del 22 de abril de 2016. Así mismo para la etapa de campo, se realizó la respectiva notificación de inicio de actividades ante ANLA para informar acerca de las actividades que necesitan de colecta de especímenes. En el ANEXO A-2 se presenta la Resolución 1013 de 19 de agosto de 2015.



2.1.7 Marco legal y normativo

Dentro del marco legal colombiano, aplicable a este proyecto se presenta la reglamentación inherente al uso de los recursos naturales, a través de los siguientes códigos, leyes, resoluciones y decretos, presentados a manera de resumen con la normativa vigente (véase Tabla 2)

Tabla 2 Marco Normativo

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
1	Congreso de Colombia	Ley 2 de 1959	Por el cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.	16/12/1959	Diversidad Biológica
2	Todos los ministerios	Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	18/12/1974	Recursos Naturales
3	Ministerio de Salud Publica	Decreto 1541 de 1978 compilada en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.	28/07/1978	Ocupación de Cauces
4	Ministerio de Salud	Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional	24/01/1979	Medidas sanitarias. Control sanitario de los usos del agua. Residuos líquidos. Residuos sólidos. Disposición de excretas. Emisiones atmosféricas. Áreas de captación. Suministro de agua.

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
5	Ministerio de Salud Pública	Resolución 2309 de 1986	Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la parte 4a. del Libro 1o. del Decreto Ley No. 2811 de 1974 y de los Títulos I, II y XI de la Ley 09 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales.	24/02/1986	Residuos Sólidos
6	Congreso de la República	Ley 21 de 1991	Por medio de la cual se aprueba el Convenio número 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, adoptado por la 76a. reunión de la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo - OIT, Ginebra 1989	04/03/1991	Aspectos sociales
7	Asamblea General Constituyente		Constitución Política de Colombia de 1991	20/07/1991	Saneamiento ambiental. Función social y ecológica de la propiedad. Bienes de la Nación. Derecho a intervenir en los procedimientos administrativos ambientales Las culturas Patrimonio cultural De los derechos colectivos y del ambiente
8	Congreso de la República	Ley 70 de 1993	Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política Tiene por objeto reconocer a las comunidades negras que han venido ocupando tierras baldías en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la Cuenca del Pacífico, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción y el derecho a la propiedad colectiva	27/08/1993	Aspectos sociales
9	Congreso de Colombia	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.	22/12/1993	Licencias ambientales. Modos y procedimientos de participación ciudadana
10	Congreso de la República	Ley 134 de 1994	Por la cual se dictan normas sobre Mecanismos de Participación Ciudadana. Regula la iniciativa popular legislativa y normativa; el referendo; la consulta popular del orden nacional, departamental, distrital, municipal y local; la revocatoria del mandato; el plebiscito y el cabildo abierto.	31/05/1994	Aspectos sociales
11	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 541 de 1994	Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación	14/12/1994	Residuos Sólidos
12	Ministerio del Medio Ambiente	Decreto 948 de 1995 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.	05/06/1995	Aire y Ruido
13	Ministerio del Medio Ambiente	Decreto 1791 de 1996 compilado en el Decreto 1076	Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.	04/10/1996	Aprovechamiento Forestal

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
		de 2015.			
14	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 273 de 1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).	01/04/1997	Vertimientos
15	Ministerio del Medio Ambiente	Decreto 900 de 1997 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamenta el Certificado de Incentivo Forestal para Conservación.	01/04/1997	Aprovechamiento Forestal
16	Ministerio del Interior	Decreto 1320 de 1998	Por el cual se reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales dentro de su territorio	13/07/1998	Aspectos sociales
17	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones	06/05/1998	Vertimientos
18	Ministerio del Interior	Decreto 321 de 1999	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.	17/02/1999	Contingencia
19	Presidencia de la República	Decreto 309 de 2000	Por lo cual se reglamente la investigación científica sobre la diversidad biológica	25/02/2000	Diversidad Biológica
20	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 0058 de 2002	Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos	21/01/2002	Residuos Sólidos
21	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 584 de 2002	Por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se adoptan otras disposiciones	26/06/2002	Diversidad Biológica
22	Ministerio de Transporte	Decreto 1609 de 2002 compilado en el Decreto 1079 de 2015	Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.	06/08/2002	Residuos
23	Presidencia de la República	Decreto 2350 del 20 de agosto de 2003	Por el cual se reglamenta la Ley 743 de 2002 que facultó al Gobierno Nacional para reglamentar aspectos esenciales para el buen desenvolvimiento de la organización comunal y la consecución de sus objetivos	20/08/2003	Aspectos sociales
24	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 0886 de 2004	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 0058 del 21 de enero de 2002 y se dictan otras disposiciones.	27/07/2004	Residuos Sólidos
25	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 838 de 2005 compilado en el Decreto 1077 de 2015	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.	28/03/2005	Residuos Sólidos
26	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 4741 de 2005 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	30/12/2005	Residuos Especiales
27	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 979 de 2006 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995.	03/04/2006	Aire y Ruido

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
28	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 601 de 2006	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia	04/04/2006	Aire
29	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 627 de 2006	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.	07/04/2006	Ruido
30	Ministerio de la Protección Social	Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	08/05/2007	Vertimientos
31	Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano	22/06/2007	Vertimientos
32	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 1362 de 2007	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.	02/08/2007	Residuos Sólidos
33	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.	05/06/2008	Aire y Ruido
34	Congreso de la República	Ley 1185 de 2008	Por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 –Ley General de Cultura– y se dictan otras disposiciones. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	12/03/2008	Aspectos culturales
35	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 650 de 2010	Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire	06/04/2010	Aire
36	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 2372 de 2010 compilado en el Decreto 1076 de 2015	Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones.	01/07/2010	Sistema de Áreas Protegidas
37	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 1309 de 2010	Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008	13/07/2010	Aire
38	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decreto 3930 de 2010 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	25/10/2010	Vertimientos
39	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 2154 de 2010	Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.	02/11/2010	Aire

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
40	ANI- Agencia nacional de Infraestructura	Resolución 077 de 2012	Por medio de la cual se establecen los lineamientos de Gestión Social para la elaboración y ejecución de planes de reasentamiento poblacional involuntario		Aspectos sociales
41	Presidencia de la República	Decreto 1640 de 2012 compilado en el Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.	02/08/2012	Cuencas hidrográficas
42	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1517 de 2012	Por la cual se adopta el Manual para la Asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad.	16/09/2012	Diversidad Biológica
43	Ministerio del Medio Ambiente	Decreto 2667 de 2012 compilado en el Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	21/12/2012	Vertimientos
44	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 3016 de 2013 compilado en el Decreto 1076 de 2015	Por el cual se reglamenta el permiso de estudio para a recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales.	27/12/2013	Diversidad Biológica
45	Presidencia de la Republica	Decreto 2613 del 20 de noviembre de 2013	Por medio del cual se adopta el Protocolo de Coordinación Interinstitucional para consulta previa	20/11/2013	Aspectos sociales
46	Presidencia de la Republica	Directiva presidencial No 010 del 07 de noviembre de 2013	Guía para la realización de la consulta previa	07/11/2013	Aspectos sociales
47	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 192 de 2014	Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones	22/02/2014	Diversidad Biológica
48	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1207 de 2014	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.	13/08/2014	Vertimientos
49	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 2041 de 2014 compilado en el Decreto 1076 de 2015	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.	15/10/2014	Licencias ambientales
50	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	07/03/2015	Vertimientos
51	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	26/05/2015	Medio ambiente y recursos naturales renovables
52	Congreso de Colombia	Ley 1757 de 2015	Por la cual se dictan disposiciones en materia de promoción y protección del derecho a la participación democrática.	06/07/2015	Mecanismos de participación ciudadana
53	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1377 de 2015	Por lo cual se modifica la Resolución 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones	09/06/2015	Aire
54	Autoridad Nacional de Licencias	Resolución 1013 de 2015	Por lo cual se otorga a INGETEC S.A., Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la	19/08/2015	Diversidad Biológica

No.	Norma Técnica			Fecha de aprobación	Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título		
	Ambientales		diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales, y se toman otras determinaciones		
55	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 2099 de 2016	Por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto número 1076 de 2015, en lo relacionado con la "Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales" y se toman otras determinaciones.	22/12/2016	Plan de inversión del 1%
56	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 472 de 2017	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.	05/03/2017	Residuos Especiales
57	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Resolución 0330 de 2017	Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009	08/06/2017	Agua potable y saneamiento básico

2.2 ALCANCES

De conformidad con los requerimientos de los términos de referencia expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la Resolución 0751 de 2015 "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la Licencia Ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o túneles", se definen los siguientes alcances para el presente Estudio de Impacto Ambiental

- Descripción del proyecto de Construcción de túneles cortos y ampliación de vía existente, para tercer carril en ambos sentidos (Sentido Girardot – Bogotá, y sentido Bogotá – Girardot) por el paso de la Nariz del Diablo desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000); incluyendo la Construcción, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de la carretera existente.
- Presentación de la información de diseño del proyecto, que comprenderá las características técnicas en cada una de las fases, incluyendo la información de cada una de las obras de infraestructura que hacen parte del proyecto y los criterios de diseño a nivel de factibilidad.
- Teniendo en cuenta la ubicación geográfica del proyecto, se realizará la caracterización del área de influencia, para cada medio abordando los siguientes temas: Abiótico (Geología, Geomorfología, Paisaje, Suelo y uso de la tierra, Hidrología, Calidad del agua, Geotecnia, Atmósfera), Biótico (Ecosistemas), Socioeconómico (Participación y Socialización con las Comunidades, Componente Demográfico, Componente Espacial, Componente Económico, Componente Cultural, Componente Arqueológico, Componente Político Administrativo, Tendencias del Desarrollo e Información de Población a Reasentar).
- Se realizará el proceso de zonificación de las condiciones ambientales de la zona sin el proyecto con base en los resultados y el análisis integral de la caracterización ambiental de la zona de estudio y de las áreas de influencia.
- Cumplimiento de la estrategia de comunicación de manera que se garantice el derecho a la participación de las comunidades afectadas, para lo cual las mismas se encuentran dentro de los procesos de

información de los impactos generados y las medidas propuestas para su mitigación o compensación; los resultados de estos procesos se encuentran en las respectivas actas realizadas en las reuniones con las comunidades, autoridades locales y autoridades ambientales.

- Para las diferentes fases del proyecto, se definirán las demandas ambientales asociadas en términos de concesión de aguas, permisos de vertimientos, ocupaciones de cauce, fuentes de materiales, zonas de depósito, emisiones atmosféricas y gestión de residuos sólidos.
- El alcance de este estudio también involucra la evaluación económica ambiental, donde se realiza el análisis del valor económico de impactos sobre bienes y servicios ambientales, para aplicando las metodologías sugeridas dentro de los términos de referencia.
- Formulación del Plan de Manejo Ambiental (PMA) de tal forma que se proponga solución a cada uno de los impactos identificados, estableciendo para ello en cada programa de manejo: objetivos, metas, etapa, impacto ambiental a controlar, tipo de medida, plan de acción, lugar de aplicación, población beneficiada, mecanismos y estrategias participativas, personal requerido, responsable de la ejecución, indicadores, cronograma y costos.
- Formulación de planes de seguimiento y monitoreo a las acciones planteadas para mitigar, corregir o prevenir los impactos del proyecto sobre los componentes abiótico y biótico, coherentes con el manejo actual de los ecosistemas previsto por las autoridades ambientales y entidades competentes de la zona.
- Formulación de un Plan de Gestión del Riesgo donde se realice la identificación y evaluación de las amenazas exógenas de origen natural o antrópico que puedan afectar al proyecto y las amenazas endógenas originadas por el proyecto que puedan afectar al medio ambiente.

2.2.1 Limitaciones y/o restricciones del EIA

Las condiciones, limitaciones o restricciones que se encontraron para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental se centraron en algunas incertidumbres en cuanto a las demandas uso, y/o aprovechamiento de recursos naturales durante la fase de construcción del proyecto.

Por otro lado se realizó la gestión con los laboratorios acreditados por el IDEAM para adelantar las campañas de caracterización de sedimentos del Río Sumapaz, como cuerpo receptor de las aguas de infiltración de los túneles previstos a construir en este sector, encontrando que hay parámetros como Densidad específica, Porosidad, Sulfuro ácido volátil y Potencial Redox, que no se encuentran acreditados ni son subcontratados por dichos laboratorios en el exterior para realizar los análisis correspondientes.

Los laboratorios consultados fuera del país no cuentan con las técnicas acreditadas para estos parámetros, además es importante tener en cuenta que los tiempos entre la toma y el análisis, especialmente en el parámetro Sulfuro Ácido Volátil no debe sobrepasar las 48 horas ya que el análisis se puede perder en un tiempo superior.

2.3 METODOLOGÍA

El presente Estudio de Impacto Ambiental se desarrolló basado en los términos de referencia expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la Resolución 0751 de 2015 “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o túneles”, de igual forma, se tuvo en cuenta la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MAVDT, 2010).

El Consorcio Ruta 40 contrato como consultor a la compañía INGETEC INGENIERIA Y DISEÑO, para la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental, en el marco de licenciamiento del proyecto de construcción de túneles y mejoramiento de la doble calzada en el tramo de la Unidad Funcional 2.

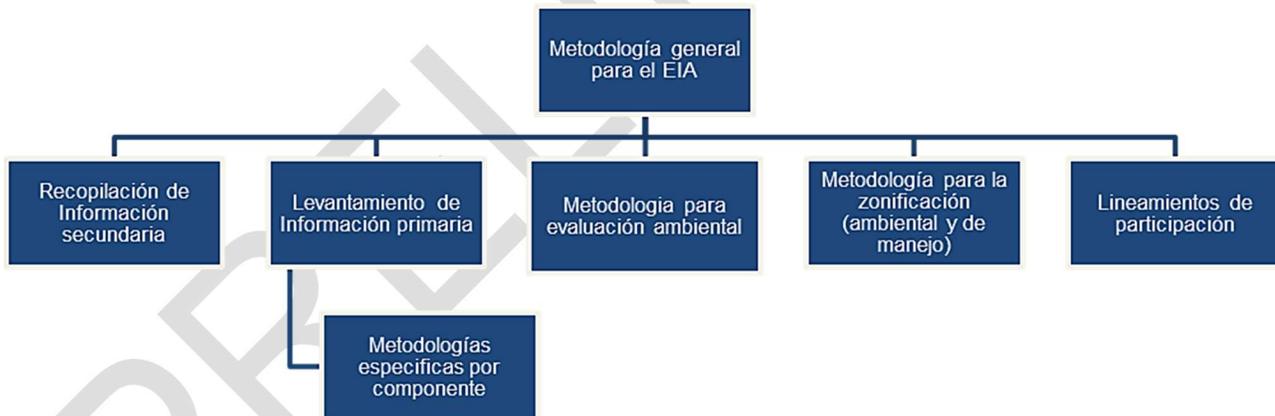
La ejecución del Estudio inició a partir del mes de abril de 2017, con las diferentes jornadas de campo para reconocimiento, salidas de especialistas y equipos de trabajo a la zona del proyecto; el procesamiento y análisis de la información de dichas actividades hasta octubre de 2017, para labores de caracterización de los medios abiótico y biótico; de igual forma se incluyen socializaciones informativas a las comunidades y administraciones municipales y la consolidación de la versión final del documento.



La metodología para la elaboración del EIA partió de un enfoque general de las condiciones particularidades y específicas del Proyecto, el entendimiento del territorio, su estado actual y su tendencia, así como las dinámicas propias del desarrollo del estudio (Véase Figura 1).

Las propuestas metodológicas particulares se desglosaron desde el abordaje de la caracterización, evaluación ambiental, zonificación ambiental y de manejo y lineamientos de participación. Previo a la salida de campo para la recolección de información primaria se contó con metodologías específicas que dieran cuenta no solamente de las necesidades propias y técnicas del estudio sino de las condiciones y particularidades del entorno.

Figura 1 Abordaje metodológico para la Elaboración del EIA



La estructura lógica y metodológica que se desarrolló para la elaboración del EIA, en primera instancia y de acuerdo con el planteamiento inicial del Proyecto se delimitó el área de estudio para elaborar la caracterización ambiental bajo el entendimiento e identificación de impactos preliminares, posteriormente y de acuerdo a las definiciones técnicas y resultados relevantes en el desarrollo del Proyecto. Los capítulos se estructuraron con el fin de determinar la viabilidad ambiental del Proyecto, relacionada específicamente con la elaboración de la zonificación de manejo y el diseño de las medidas de manejo y seguimiento y monitoreo. Con el objeto de llevar a cabo el EIA, se revisó la información existente y se siguieron los lineamientos establecidos en los Términos de Referencia indicados previamente, así como los lineamientos del consorcio.

La información secundaria consultada hace referencia a estudios ambientales y sociales oficiales realizados con anterioridad dentro del área de interés. En primer lugar, se analizó la información existente en los Planes

Básicos de Ordenamiento Territorial -PBOT-, Plan de Desarrollo Municipal -PDM-, informes del sistema de identificación y clasificación de potenciales beneficiarios para los programas sociales -SISBEN-, secretarías de salud, educación y de gobierno, Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-, etc. De igual forma se recopiló información de entidades de orden nacional y regional, tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia -IDEAM-, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, Servicio Geológico Colombiano -SGC-, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales -UAESPNN-, Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH-, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- y la Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en la zona (CAR y CORTOLIMA), entre otras.

2.3.1 Área de Influencia

La definición y delimitación de las áreas de influencia del Proyecto, involucró aquellas en las que se manifiestan los impactos. En este sentido, metodológicamente se estableció un área de estudio preliminar donde se ejecutó la caracterización, realizando una delimitación inicial de las áreas de influencia. Teniendo en cuenta que los impactos ambientales se manifiestan según el componente afectado y la obra o actividad que lo genera, se obtuvieron diferentes áreas delimitadas (polígonos) para los componentes o medios en que se subdivide el ambiente. La delimitación y definición de área de influencia se basó entonces en unidades funcionales como unidades de suelo, ecosistemas, unidades territoriales, entre otras, asociados al área donde existirá intervención para construcción del proyecto (Unidad Funcional 2 y los ZODMES), áreas en las que sean demandados recursos naturales, y las actividades que generen impactos directos e indirectos al ambiente durante las etapas de pre construcción, construcción y cierre del proyecto vial. Como resultado se obtuvo áreas de influencia diferentes por medio (físico, biótico y socioeconómico)

La definición de las áreas de influencia se realizó atendiendo lo contemplado en los términos de referencia y respondiendo a los impactos identificados en cada uno de los medios y utilizando tanto información secundaria como primaria.

De acuerdo con los criterios establecidos anteriormente para cada uno de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, se lograron establecer unidades de análisis sistémico que delimitaron áreas geográficas concretas, las cuales permitieron definir áreas de modelación específica de cada uno de los impactos previstos en el Proyecto.

Finalmente se superpuso las áreas de cada uno de los tres medios (abiótico, biótico y socioeconómico) y se delimitó una segunda línea envolvente en su mayor área, con lo cual se obtuvo un área de influencia para el proyecto que contenía a los tres medios. En consecuencia, se logró espacializar cada uno de los efectos de los elementos impactantes en cada medio, en polígonos geográficos independientes para cada medio.

2.3.2 Caracterización del área de influencia

Se aportó información primaria y secundaria a nivel cualitativo y cuantitativo que permitió conocer las características físico-bióticas y socioeconómicas del medio ambiente en el área de influencia del proyecto. Para el conocimiento y construcción de la línea base ambiental en el área de influencia del proyecto se compilo y analizó la información que se describe a continuación:

La caracterización de la línea base para el área de estudio se realizó mediante la recolección y análisis de información primaria y secundaria, procesada y analizada de acuerdo con los diferentes métodos definidos para cada componente.

Las actividades de oficina contemplaron los siguientes ítems:

- Revisión de información secundaria recopilada, consulta en las entidades oficiales e información suministrada por el cliente, etc.

- Revisión y análisis de la información primaria levantada en campo, en las jornadas o campañas de monitoreo de los diferentes componentes de cada medio.

El documento del Estudio de Impacto Ambiental contiene la siguiente estructura, dando alcance a los requerimientos de la Autoridad Ambiental:

2.3.2.1 Medio abiótico

Para el medio abiótico se utilizó la información primaria y secundaria disponible, la cual hace parte de estudios previos adelantados en el área de influencia.

2.3.2.1.1 Geología

Para caracterización del componente geológico, la metodología general involucró procesos de identificación, descripción y análisis, se presentará la cartografía geológica general y específica del área de influencia a partir de la información secundaria obtenida de los estudios de Ingeniería complementada con información primaria. Se obtuvo la información geológica y las condiciones geológicas en tramos homogéneos.

Para las obras subterráneas a partir del modelo geológico de los estudios de Geología para Ingeniería y Geotecnia, se identificaron las unidades litológicas y las condiciones estructurales que permitieron esquematizar en mapas planta – perfil la información geológica, teniendo en cuenta la nomenclatura geológica nacional, así como la establecida en los dominios de la GDB.

2.3.2.1.2 Geomorfología

Se efectuó la caracterización geomorfológica en el área de influencia directa incluyendo la génesis de las diferentes unidades, rangos de pendientes, patrón y densidad de drenaje, etc. De acuerdo con la información de referencia de los estudios de Ingeniería, la foteointerpretación y la visita de campo se presentó la cartografía y delimitación de los procesos de inestabilidad con énfasis en remoción en masa y erosión.

La caracterización geomorfológica incluye el mapa de pendientes acorde con los dominios establecidos de la GDB del ANLA. Adicionalmente, el análisis geológico, morfogenético y la morfometría sirvieron de insumos para realizar la zonificación por susceptibilidad a procesos de remoción en masa para el área de influencia directa del componente.

2.3.2.1.3 Paisaje

El análisis de paisaje se realizó de acuerdo a los lineamientos definidos en el manual de evaluación de estudios ambientales de MINAMBIENTE y con base a la cartografía que se generó para el proyecto (fisiografía, geomorfología, topografía, mapa de ecosistema, mapa de coberturas etc.), teniendo en cuenta lo estipulado en la Resolución 2182 de 2016, referente al modelo de almacenamiento geográfico.



Se realizó un análisis de la visibilidad y calidad paisajística, se evaluó la fragilidad del paisaje, su capacidad para absorber los cambios y población afectada por el cambio paisajístico causado por el proyecto. A través de imagen satelital y fotografías aéreas, se identificarán las unidades de paisaje a escala 1:10.000.

Mediante el programa ARCGIS y usando software específicos (Fragstats, PathAnalysis), se estableció el tamaño de los fragmentos de ecosistemas naturales y de coberturas vegetales que componen el paisaje y la relación ecológica entre estos, representada en índices de conectividad y fragmentación, determinando el contexto paisajístico.

Para la elaboración del análisis de calidad visual del paisaje se siguió la propuesta por Aguilo, y otros (1993), la cual consiste en una metodología analítica, en la que se evalúa la importancia de las coberturas naturales y

drenajes, así como la influencia del uso actual del suelo y elementos discordantes de origen antrópico como las vías. Estos se agrupan en tres grupos:

- Físicos: formas de terreno, superficies del suelo, rocas, cursos o láminas de agua, nieve.
- Bióticos: vegetación y fauna
- Actuaciones humanas: diversos tipos de estructuras realizadas por el hombre, ya sean puntuales, extensivas o lineales.

Los atributos del paisaje para el área de influencia biótica se identificaron mediante el análisis de ortofotos, fotografías panorámicas, información cultural y revisión bibliográfica.

Según el SEA (2013), las unidades de paisaje corresponden al reconocimiento de porciones del territorio que tienen una apariencia homogénea, la cual es resultante de la combinación de sus atributos visuales. Esta homogeneidad está dada a través de la combinación de rasgos parecidos o en la repetición de formas. Con el fin de identificar el proyecto dentro del componente paisajístico, se realizará un análisis de la calidad visual del paisaje en el escenario sin proyecto, es decir, el estado actual y un análisis en el escenario con proyecto, el cual incluye las obras a realizar para llevar a cabo el proyecto. Se describen a continuación los parámetros a evaluar para realizar el análisis de la calidad visual del paisaje. (Ver Tabla 3, Tabla 4,

Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7)

Tabla 3 Calificación de la valoración del relieve

Tipo de relieve	Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Plano	No se observan detalles singulares y la pendiente del terreno es menor al 7%	1	Muy Baja
Ondulado	Colinas bajas a medias, fondos de valles planos y se observan pocos detalles singulares. La pendiente del terreno está entre 7 – 12%	3	Baja
Accidentado	Presencia de formas erosivas o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de detalles interesantes. Pendiente entre 12 – 25%	5	Media
Montañoso	Relieve de gran variedad superficial, con presencia de rasgos singulares. Pendiente entre 25 – 50%	7	Alta
Escarpado	Relieve muy montañoso, marcado y prominente; con rasgos singulares y dominantes. Pendiente del terreno mayor a 50%	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Tabla 4 Calificación de la valoración de la vegetación

Tipo de cobertura	Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Tierras desnudas	Ausencia de vegetación en el suelo por lo que no ofrece contraste o variedad	1	Muy Baja
Cultivos y plantaciones forestales	Presencia de vegetación de porte bajo a medio, con poca variedad de contraste visual (muy homogéneo visualmente)	3	Baja
Pastos (arbolados y enmalezados) y arbustos o matorrales	Presencia de vegetación de porte bajo a medio, con un contraste y variedad media	5	Media
Rastrojo alto	Presencia de vegetación de porte medio a alto, que ofrece un contraste y variedad visual alta (cobertura heterogénea)	7	Alta
Bosque natural denso	Presencia de vegetación de porte alto con un contraste y variedad visual muy alto (Cobertura con mayor heterogeneidad).	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Tabla 5 Calificación de la valoración de los cuerpos de agua

Tipo de cuerpos de agua	Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Arroyos	Ausente o inapreciable	1	Muy Baja
Arroyos	Arroyos intermitentes	3	Baja
Ríos, quebradas o cuerpos de agua	Presencia de drenajes o agua en reposo de forma permanente aunque no domina el paisaje	5	Media
Ríos, quebradas o cuerpos de agua	Presencia de drenajes o agua en reposo con algunos cambios en el cauce	7	Alta
Ríos, quebradas o cuerpos de agua	Presencia de drenajes o agua en reposo con numerosos e inusuales cambios en el cauce (cascadas, rápidos, pozas, meandros o gran caudal)	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Tabla 6 Calificación de la valoración de los afloramientos rocosos

Tipo afloramientos rocosos	Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Ninguno	Ausente o inapreciable	1	Muy Baja
Rocas dispersas	Apenas existen rasgos apreciables	3	Baja
Rocas de tamaño medio	Rasgos obvios, pero no dominan el paisaje	5	Media
Rocas redondeadas	Formas rocosas sobresalientes, de tamaño regular, dispersas en todo el terreno	7	Alta
Rocas de forma cónica	Presencia de afloramientos rocosos, taludes inusuales en tamaño y forma	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Tabla 7 Calificación de la valoración del uso del suelo

Usos de la tierra	Descripción de la valoración	Valor	Calificación
Minería	Actividad que modifica de manera intensa el suelo y anula la calidad escénica	1	Muy Baja
Agrícola (cultivos)	Modificaciones muy intensas y de extensión variable que disminuyen calidad escénica	3	Baja
Pecuario o campos abandonados) pastos y arbustos y matorrales	Modificaciones poco armoniosas de intensidad moderada, conformando una calidad escénica media	5	Media
Protección (rastrojo alto)	Modificaciones de baja intensidad y extensión variable que afectan la calidad escénica de forma baja	7	Alta
Protección (bosque)	Modificaciones poco perceptibles y prácticamente libre de actuaciones estéticamente no deseadas que favorecen la calidad visual y escénica	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Evaluados estos parámetros se procederá a realizar el mapa de calidad visual, que consiste en ponderar los cinco parámetros con igual valor, dando como resultado la importancia del área en el sistema, desde el punto de vista paisajístico. Esta ponderación consiste en la superposición de cada uno de los mapas por parámetro, la cual se llevó a cabo a través del álgebra de mapas, en el software ArcGis®.

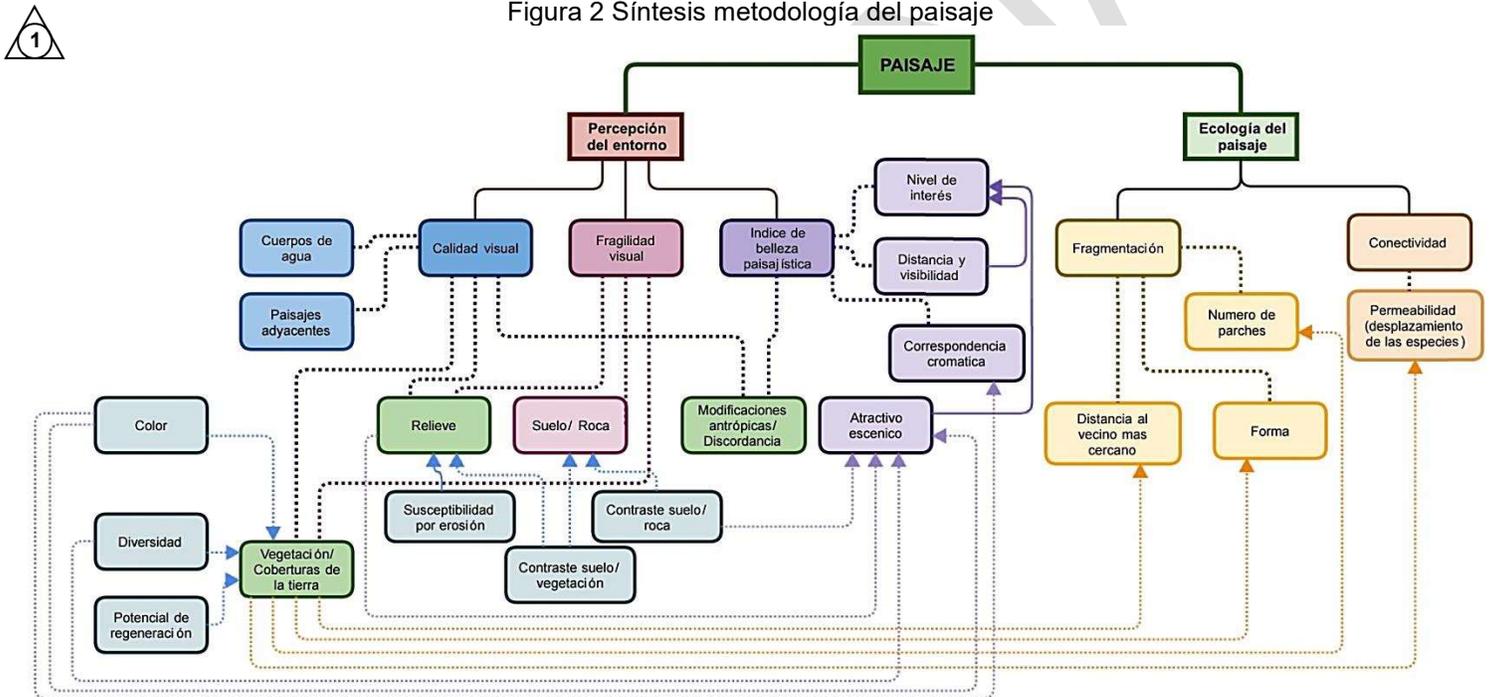
Se presenta a continuación la clasificación para la calidad visual (Ver Tabla 8) y en la Figura 2 se presenta la síntesis de la metodología de paisaje.

Tabla 8 Valoración de la calidad visual total

Descripción de la valoración	Rango	Valor	Calificación
Áreas que no reúnen características y/o rasgos importantes a nivel paisajístico (áreas homogéneas)	≤5	1	Muy Baja
Áreas con rasgos y/o características comunes en el área considerada (áreas con muy poca variedad)	6 – 15	3	Baja
Áreas principalmente con rasgos y/o características comunes y pocas características excepcionales	16 – 25	5	Media
Áreas con una mezcla de características excepcionales en algunos aspectos y comunes para otros	26 – 35	7	Alta
Áreas con rasgos y/o características excepcionales en la mayoría de los aspectos considerados	>35	9	Muy Alta

Fuente: Aguilo y otros 1993 modificado por INGETEC.

Figura 2 Síntesis metodológica del paisaje



Análisis de fragmentación

El análisis de las métricas del paisaje se realizó mediante el mapa de coberturas de la tierra delimitado para el área de influencia físico biótico, el cual se elaboró a partir de la fotointerpretación de una Ortofoto del año 2017, para ello se empleó la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Teniendo en cuenta que el área de influencia cuenta con dos polígonos distanciados el análisis de fragmentación y conectividad que se describe a continuación se realizó de forma individual, ya que dicho distanciamiento puede afectar los resultados a nivel de agregación y conectividad de los parches.

Para estimar las métricas de paisaje se empleó la herramienta vLate versión 2.0 ® (Lang & Tiede, 2003) la cual es una extensión del software ArcGis v 10.0 y se siguió conceptualmente a McGarigal & Marks (1994) a través del cálculo de las métricas que se describen a continuación.

- Configuración del paisaje

La configuración del paisaje evalúa diferencia y el estado, número y forma de los parches que componen el paisaje, facilitando el análisis de una amplia gama de posibilidades de valoración cuantitativa con el objetivo de analizar la situación en un momento dado, así como la evaluación de los cambios a lo largo del tiempo y su incidencia paisajística, ecológica, etc. (Vila-Subirós, Varga-Linde, Llausás-Pascual, & Ribas-Palom, 2006).

La configuración del paisaje, incluye la composición de cada una de las clases analizadas. Para ello mediante el software vLate se cuantificó el tamaño de los parches, tamaño promedio y su desviación estándar, así como el número de parches totales y el número de parches por clase. Adicionalmente se estimó la densidad total y el borde relativo, en la Tabla 9 se presenta la descripción de estas.

Tabla 9 Métricas de borde

Métrica	Ecuación	Definición	Interpretación
Borde total (TE)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	e_{ik} : longitud total (m) del borde en el paisaje con el tipo de parche (clase) i; Incluye los límites del paisaje y los segmentos de fondo que implican el tipo de parche i.	El valor es igual a 0 cuando no existe un borde de clase en el paisaje. Esto es cuando el paisaje entero y el límite del paisaje, si está presente, consiste en el tipo de parche correspondiente No existe borde de clase, sino borde de paisaje.
Densidad de borde (ED)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} \times 10.000$	e_{ik} : longitud total (m) del borde en el paisaje con el tipo de parche (clase). a_{ij} : área en metros cuadrados (m^2) del parche	ED = 0 cuando no hay borde de clase en el paisaje

- Forma y agregación del paisaje

A nivel de clase y con el fin de evaluar el estado de los relictos de vegetación natural en el área de influencia, se realizó el análisis de la forma y agregación de los parches para las coberturas naturales presentes. A continuación, se describen los parámetros analizados, así como las métricas mediante las que fueron evaluadas.

Forma: la forma de los parches ha mostrado tener influencia en los procesos que se dan entre estos, tales como la migración de pequeños mamíferos, la colonización de plantas leñosas y puede influir en las estrategias de búsqueda de alimento por parte de los animales (McGarigal & Marks, 1994). A medida que la forma del parche es más compleja y su superficie es reducida, la funcionalidad el ecosistema disminuye, sin embargo si las formas son menos complejas (circulo o cuadrada) pero la superficie es baja, la funcionalidad del ecosistema se encuentra comprometida.

No obstante, el significado principal de la forma en términos de la naturaleza de los parches en el paisaje está relacionado con el efecto de borde (McGarigal & Marks, 1994). Para la evaluación de la forma se van a utilizar las métricas presentadas en la Tabla 10.

Agregación: La conectividad del paisaje es el grado en el cual el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches (Taylor, Fahrig, Henein, & Merriam, 1993) o las relaciones funcionales entre los parches de hábitat debido al vínculo espacial del hábitat y movimientos de los organismos en respuesta a la estructura del paisaje (With, Gardner, & Turner, 1997).

Debido a la dependencia estructural de la conectividad con la organización espacial de los parches de hábitat, este atributo va a ser evaluado a través de medidas de aislamiento que indican de manera indirecta el papel de los parches en la facilidad de movimientos de la flora y fauna que habita el área de influencia. La medición de este atributo se va a realizar a través de las métricas presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10 Métricas a nivel de clase

Tipo de métrica	Métrica	Ecuación	Definición	Interpretación
Forma (SHAPE)	Índice de forma (MSI)	$SHAPE = \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	El valor tiende a 1 cuando el parche se asemeja a un cuadrado y aumenta sin límite conforme aumenta la complejidad del parche.
	Índice de dimensión fractal (MFRAC)	$FRAC = \frac{2\ln(0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	1 ≤ FRAC ≤ 2 Una dimensión fractal mayor que 1 indica un aumento en la complejidad de la forma. Se aproxima a 1 para formas con perímetros muy simples como cuadrados y es cercano a 2 para formas de mayor complejidad
	Perímetro-Área Radio (MPAR)	$PARA = \frac{p_{ij}}{a_{ij}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	PARA > 1 sin límite Donde 1 se asemeja a formas simples.
Agregación	Distancia Euclídiana al vecino más próximo (ENN)	ENN = h _{ij}	h _{ij} : distancia (m) de un parche ij al parche vecino más cercano del mismo tipo (clase)	Distancia al parche más cercano, su variación depende de la distancia máxima entre parches
	Índice de proximidad promedio (MPI o PROX)	$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$	a _{ijs} = área (m ²) del parche ijs dentro del parche vecino parche (m) ij. h _{ijs} = distancia (m) entre el parche ijs y el parche ijs,	PROX aumenta a medida que aumenta la vecindad. El límite superior de PROX se ve afectado por el radio de

			basado en la distancia borde - borde del parche.	búsqueda y la distancia mínima entre parches.
--	--	--	--	---

Fuente: (McGarigal & Marks, 1994)

- Diversidad del paisaje

A nivel del paisaje se evaluó la diversidad de clases presentes en el área de influencia, estimando el Índice de diversidad de Simpson, el cual representa la probabilidad de que dos píxeles seleccionados al azar sean diferentes tipos de parches (McGarigal & Marks, 1994).

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

Dónde:

Pi: Proporción de paisaje ocupado por el tipo de parche de la clase i

Índice de fragmentación (índice de vegetación remanente)

El análisis del índice de fragmentación, se estimó mediante el índice de vegetación remanente (IVR) que consiste en una evaluación del área total ocupada por las coberturas naturales frente al área total del área de influencia. Este indicador se evalúa de acuerdo a los parámetros establecidos en la Tabla 11 (Márquez, 2002).

Tabla 11 Grado de fragmentación

Grado de fragmentación	Rango
Poco fragmentado	IVR ≥ 70%
Parcialmente fragmentado	50% ≥ IVR < 70%
Medianamente fragmentado	30% ≥ IVR < 50%
Muy fragmentado	10% ≥ IVR < 30%
Completamente fragmentado	IVR < 10%

Fuente: (Márquez, 2002) modificado por INGETEC, 2017.

- Análisis de conectividad

El análisis de conectividad de las coberturas naturales, se realizó mediante la metodología propuesta por Gurrutxaga (2003). Esta metodología consiste en elaborar dos mapas en formato raster. El primero de ellos consiste en un mapa de “fuentes”, sobre el cual se espacializan las zonas del territorio que contienen hábitats cuya conectividad se desea medir, en este caso las coberturas naturales delimitadas para el área de influencia, así como aquellas que han sido intervenidas en cierto grado como la vegetación secundaria o en transición.

El segundo mapa, consiste en dar una calificación a cada una de las coberturas de la tierra (delimitadas siguiendo la metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia (IDEAM, 2010)) presentes en el área de influencia teniendo en cuenta la permeabilidad, es decir la facilidad de desplazamiento de las especies de una a otra cobertura natural o sus parches semejantes; en la Tabla 12 se presentan los valores de resistencia dados a las coberturas reportadas en la Metodología CORINE Land Cover (IDEAM, 2010). El modelo de análisis se ejecutó en el software ArcGis V10.0.

La resistencia se refiere al grado de permeabilidad de las coberturas, es decir, a la facilidad de desplazamiento de especies de fauna y flora por el área de influencia; una mayor resistencia se relaciona con una menor permeabilidad de la cobertura, es decir la facilidad de desplazamiento de las especies es muy baja.

Tabla 12 Resistencia de las coberturas para el área de influencia del proyecto

CLC	Cobertura	Resistencia
112	Tejido urbano discontinuo	100
121	Zonas industriales o comerciales	100
122	Red vial, ferroviaria y territorios asociados	100
131	Zonas de extracción minera	100
141	Zonas verdes urbanas	70
142	Instalaciones recreativas	100
1422	Áreas deportivas	100
231	Pastos limpios	40
232	Pastos arbolados	40
233	Pastos enmalezados	20
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	20
312	Bosque abierto	1
314	Bosque de galería y ripario	1
315	Plantación forestal	10
322	Arbustal	1
323	Vegetación secundaria y/o en transición	5
3232	Vegetación secundaria baja	5
332	Afloramientos rocosos	100
333	Tierras desnudas y degradadas	100
511	Ríos (50 m)	100

Fuente: INGETEC, 2017

Luego de obtenidos los dos mapas, el de “fuentes (coberturas de las que se quiere determinar la conectividad)” y “resistencias (asociado al grado de permeabilidad del ecosistema)”, el cálculo de la conectividad se estimó mediante el software ArcGis®, a través de la función *CostDistance*, la cual estima las superficies por las cuales de acuerdo a la resistencia de las coberturas es más posible que una especie se desplace.

El índice de conectividad se calcula obteniendo el valor medio de todas las celdas del mapa Costo-distancia obtenido, exceptuando las de valor de cero. Los valores del índice de conectividad varían entre 0 e infinito, no siendo posible establecer un baremo estándar de variación del índice, ya que este depende del contexto regional en el que se analice y se requeriría conocer el estado anterior para identificar el cambio en la conectividad. Por lo anterior se asume el escenario actual como el escenario inicial y el escenario con proyecto, el escenario siguiente que se podría producir por el desarrollo del proyecto.

Si bien el Gurutxaga (2003) plantea esta metodología para superficies con una escala de menor detalle, en la que la delimitación de las coberturas se realizó de forma general sobre el área de estudio, para el presente proyecto se tienen herramientas adecuadas con las que es posible a una escala de mayor detalle identificar la conectividad actual en las coberturas y como se modificará la cobertura con respecto al desarrollo del proyecto. Para este estudio, el índice de conectividad se clasificó mediante el software ArcGis v10.0 utilizando el método de cuantiles, dónde una conectividad alta se encuentra asociada a valores cercanos a cero y una baja conectividad se relaciona con valores altos de costo distancia (Tabla 13).

Tabla 13 Rangos del índice de conectividad para el área de influencia

Obras principales		Botadero	
Grado de conectividad	Rango	Grado de conectividad	Rango
Muy alta	0	Muy alta	0 - 780,8
Alta	0 - 357,5	Alta	780,8 - 2342,4
Media	357,5 - 1489,4	Media	2342,4 - 4271,4
Baja	1489,4 - 3276,7	Baja	4271,4 - 6567,9
Muy baja	3276,7 - 15191,9	Muy baja	6567,9 - 11711,9

2.3.2.1.4 Suelos y uso de la tierra

Para las unidades de suelo se analizó la información secundaria existente sobre los suelos del área de influencia del proyecto, teniendo como referente principal los productos generados (cartografía, compendios) por la subdirección agrológica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La información obtenida se corroboró mediante una salida de campo, en donde se evaluó la correspondencia del producto obtenido.

En las áreas susceptibles de intervención por el proyecto se obtuvo información directa de los suelos, de manera que permita su caracterización fisicoquímica y biológica. Los sitios de muestreo se ajustaron de acuerdo con la caracterización preliminar realizada.

Clasificación agrológica de los suelos.

En la caracterización del área de estudio, la clasificación de las tierras por su capacidad de uso potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso, con prácticas de manejo específicas (IGAC - CORPOICA, 2002) se inició con la agrupación de las unidades cartográficas de suelos (UCS) según las clases agrológicas establecidas, así como la observación de los limitantes de uso en el trabajo de campo. Luego mediante la interpretación de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos y el examen de las características externas como relieve, pendientes, erosión, inundaciones, pedregosidad y clima, se establecieron los criterios para cada unidad de tierras.

Capacidad de Uso.

Después de conocer los suelos de una región determinada y el patrón de distribución en la dimensión espacial, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo a la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre.

Los suelos se agrupan según su capacidad para producir plantas cultivadas (cultivos, pastos, bosques), por largos periodos de tiempo sin que se presente deterioro del recurso, además, se pueden hacer generalizaciones basadas en la potencialidad y en las limitaciones en cuanto su uso y manejo.

Según las normas adaptadas por el IGAC del Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso, la clasificación agrológica se realiza por clases, establecidas básicamente por la capacidad de uso agrícola, pecuario, forestal o de conservación, sus limitaciones, riesgos de daños y formas como responden al manejo.

Según este sistema, existen ocho categorías y se designan con números arábigos de 1 a 8, y está estructurado de forma tal que, a medida que se incrementa la clase por capacidad agrológica, disminuye la gama de cultivos

a escoger, se incrementan las prácticas de manejo y aumentan significativamente la necesidad de proteger el recurso así:

- Tierras arables, con capacidad para cualquier tipo de cultivo, con pocas prácticas de conservación de suelos (clases 1 y 2).
- Tierras arables, con restricciones en la selección de cultivos, con prácticas intensivas de conservación de suelos (clases 3 y 4)
- Tierras para ganadería con praderas mejoradas, cultivos permanentes y/o reforestación (clases 5 y 6).
- Tierras forestales con posibilidades de uso sostenible del bosque (clase 7).
- Tierras destinadas a la conservación y la protección de la naturaleza. Generalmente constituyen ecosistemas estratégicos para el abastecimiento de agua y son muy vulnerables (clase 8).

De acuerdo con factores limitantes, se obtienen las subclases de capacidad, que son categorías del sistema de clasificación por capacidad de uso, que especifican en las clases 1 a la 8, uno o más factores limitantes generales y específicos para las unidades de suelos. En términos generales se conocen limitaciones por pendiente (p), erosión (e), humedad en exceso (h), suelo (s) y clima (c) y cuando se presenta más de una, deben presentarse en el símbolo cartográfico y siguiendo el orden en el que se mencionaron previamente, haciéndose notar agregando a la correspondiente clase, una o más de dichas letras minúsculas respectivamente (IGAC, 2010).

Capacidad o aptitud de uso de los suelos (Uso potencial)

Para establecer el uso potencial de los suelos del área de estudio se determinó la clasificación agrológica de los mismos teniendo en cuenta lo establecido en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Tolima (IGAC, 1990) y Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000)). El uso potencial se estableció en función de las limitaciones de los suelos que se expresan con las unidades de clasificación agrológica que agrupa los suelos bajo limitaciones similares, establecidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, lo que constituye un área definida cartografiable donde se pudo desarrollar los usos potenciales estimados. La determinación del uso potencial se complementó con las actividades de campo, con la evaluación de los siguientes aspectos del suelo: profundidad efectiva, pendiente del terreno, uso del suelo y propiedades físico químicas del mismo.

Una vez analizadas e interpretadas las características de los componentes edáficos de las diferentes unidades cartográficas y analizados los factores climáticos y de pendientes se procedió a agruparlas en Clases, Subclases y Grupos de manejo, tomando como base la estructura (categorías) y parámetros contenidos en la metodología de Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso adaptada y modificada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi del manual 210 de Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras, del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Homologación del uso actual de los suelos basados en las coberturas determinadas en el Componente de Coberturas de la tierra descrito en el documento.

Existen numerosas acepciones que se asignan a los términos "Uso" y "Cobertura" los cuales dependen de la disciplina dentro de la cual se emplean. Así, el termino cobertura se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre esta. El termino uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de coberturas, cíclica o permanentemente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales. (IGAC - CORPOICA, 2002).

Por consiguiente, hace referencia a la forma como las comunidades hacen el aprovechamiento del territorio, principalmente de las coberturas de la tierra. El uso del suelo se evidencia a través de métodos indirectos utilizando información proveniente de los sensores remotos como aerofotografías, imágenes satelitales, que sirven para determinar los tipos de coberturas de la tierra; a partir de la información de coberturas se infiere el tipo de uso que se está realizando en una determinada región; sin embargo el método más adecuado para conocer el uso del suelo es efectuar la verificación directa en campo.

Para el desarrollo de los ítems de uso potencial y uso actual se tuvo en cuenta los grupos y subgrupos de uso de suelos establecidos por el ANLA y conforme a la metodología desarrollada por el IGAC. Sin embargo y contemplando lo resuelto por la Resolución 2182 de 2016, donde es fundamental la implementación de un modelo de almacenamiento geográfico (geodatabase), se adicionan los dominios necesarios en las tablas de dominios (“Dom_Uso” y “Dom_TipoUso”) que hacen referencia a los usos del suelo no agropecuario, transportes (vías), zonas industriales, etc

Tabla 14 Usos de los suelos

Grupo (Uso)	Subgrupos (Tipo de Uso)
Agrícola	Cultivos transitorios intensivos
	Cultivos transitorios semiintensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes semiintensivos
Agroforestal	Silvoagrícola
	Agrosilvopastoril
	Silvopastoril
Ganadera	Pastoreo intensivo y semiintensivo
	Pastoreo extensivo
Forestal	Producción
	Producción-protección
	Protección
Conservación	Forestal protectora
	Recursos hídricos
	Recuperación

Fuente: (IGAC - CORPOICA, 2002)

Conflictos del Uso del Suelo

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso - tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización.

En la determinación de conflictos, se aplicó el procedimiento, que se está utilizando en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio. Se comparó espacialmente mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (clases agrologicas) o uso potencial y se analiza con una matriz de doble entrada, las unidades resultantes. El objetivo fue identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden con la capacidad de uso del territorio, y en donde esto ocurre, no hay conflictos de uso; cuando los usos actuales no corresponden con la capacidad de uso del territorio se presenta el conflicto de uso.

La correspondencia indica que el suelo está utilizado adecuadamente, situación que se define como el equilibrio y significa que el uso existente o actual en el suelo presenta exigencias iguales a su oferta ambiental. Aquellos suelos donde el agro-ecosistema existente corresponde con la vocación del uso potencial o con un uso compatible, sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras. Estos suelos se definen entonces como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto.

Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

- Subutilización del suelo: Hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando el agro-ecosistema existente corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.
- Sobreuso del suelo: Cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo, de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social. Por sobreuso se presentan varios niveles de diferencias que dan lugar a conflictos tales como los que se relacionan en la Tabla 15.

Tabla 15 Tipos de conflictos de uso del suelo

TIPOS DE CONFLICTO	SIGLA
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A
Conflicto por subutilización ligera	S1
Conflicto por subutilización moderada	S2
Conflicto por subutilización severa	S3
Conflicto por sobreutilización ligera	O1
Conflicto por sobreutilización moderada	O2
Conflicto por sobreutilización severa	O3

Fuente: (IGAC - CORPOICA, 2002)

Con el fin de evaluar la concordancia, compatibilidad o discrepancia en el uso, mediante el proceso de confrontar ordenadamente cada tema: Vocación Actual de Uso (Capacidad de uso de las tierras) vs Uso Actual, y con base en el capítulo IV de la Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia, se tomó como referencia la matriz de decisión, presentada en la Figura 3.

Figura 3 Matriz de decisión de conflictos de uso del suelo

VOCACIÓN	Tipo principal de uso	USO ACTUAL											
		AGRICOLA				AGROFORESTAL		GANADERA		FORESTAL		CONSERVACIÓN	
		CTI, CTS	CSI	CSS	SAG	SAP-SPA	PSI	PEX	FPR	FPP	CFP, CRH		
		Cu	Cña, Bs, Fr, Cf, Pa	Ac	Cs-Cf	Af	Pa	Pm	Ap, Pn	Bp	Bi, Ma		
AGROFORESTAL	Cultivos transitorios intensivos	CTI	A	A	S2	S2	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes intensivos y permanentes intensivos	CSI	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes semi intensivos	CSS	O1	O1	A	A	A	S2	O1	S2	S1	S3	S3
	Silvoagrícola	SAG	O3	O1	O2	O1	A	S2	O2	S1	A	S2	S3
	Agrosilvopastoril	SAP	O3	O1	O2	O1	O1	A	O2	A	A	S2	S3
PECUARIA	Silvopastoril	SPA	O3	O2	O3	O2	O2	A	O2	A	A	S2	S3
	Pastoreo intensivo	PSI	O1	O1	O1	O1	O1	S1	A	S2	A	S3	S3
	y semiintensivo												
	Pastoreo extensivo	PEX	O3	O3	O3	O2	O2	S1	O1	A	A	S2	S3
FORESTAL	Producción	FPR	O3	O2	O3	O3	S1	O1	O3	S2	A	S2	S3
	Protección-producción	FPP	O3	O3	O3	O3	O2	O2	O3	O1	A	A	A
	Protectora	CFP	O3	O3	O3	O3	O2	O3	O3	O2	A	O1	A
CONSERVACIÓN	Recursos hídricos	CRH	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A
	Recuperación	CRE	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A

Fuente: (IGAC - CORPOICA, 2002)



De igual manera y considerando la información para el uso actual de los suelos, se procedió a revisar y comparar la información y reglamentación referente a usos de los suelos, contenidas en los instrumentos de ordenamiento territorial de los municipios pertenecientes al área de influencia, con el fin de identificar áreas de protección o con reglamentación especial definidas por los municipios y luego poder establecer conflictos de uso de los suelos entre lo establecido por los municipios y lo determinado para el presente estudio.

Actividades de campo.

El reconocimiento de campo considera el conjunto de actividades realizadas por el profesional de suelos en el área de estudio, entre las cuales figuran: el reconocimiento preliminar del área, el levantamiento de información edafológica, descripción detallada de los suelos en calicatas, el ajuste del mapa de unidades de fisiografía y suelo y elaboración de la leyenda de suelos. El trabajo de campo se planificó considerando el mapa preliminar de unidades geomorfológicas para el área de estudio.

A partir de la Interpretación de la imagen satelital y la fotointerpretación del área de estudio, se ajustó la cartografía a la escala 1:10.000, teniendo en cuenta la descripción geomorfológica, identificando y describiendo las unidades geomorfológicas de acuerdo con morfo estructura, génesis (fluvial, estructural, denudacional, etc.) y la descripción morfométrica del entorno, considerando la distribución de las pendientes, el patrón de drenaje, laderas, entre otros aspectos. De esta manera se procedió a la planificación y desarrollo del trabajo así:

- Determinación del punto de muestreo teniendo en cuenta una ubicación cercana a las vías existentes y al trazado propuesto.
- construcción de calicatas, la cual permitió realizar la descripción el perfil del suelo en su estado natural. Se excavaron las calicatas con paredes rectas de aproximadamente 1 m2 de área y una profundidad de 1.20 m.
- En los puntos seleccionados, se realizó la descripción del perfil de suelo para validar o modificar la información secundaria según los hallazgos para la unidad cartográfica de suelos.
- En un punto contiguo al seleccionado para la construcción de la calicata, se realizó prueba de infiltración para la determinación de la velocidad de infiltración del agua a través del perfil del suelo.
- Se realizó la toma de muestras en los tres (3) primeros horizontes identificados en el perfil, para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos en laboratorio.
- Producto de los análisis de las muestras de suelo hechos en laboratorio, se generó un informe con los resultados de la información física y química, la cual se presenta en cuadros y gráficas. Esta información se interpreta bajo parámetros físicos y químicos siguiendo los criterios del laboratorio del IGAC. Los parámetros analizados en las muestras de suelos se listan en la Tabla 16.

Tabla 16 Parámetros de análisis de suelos.

PARÁMETROS A ANALIZAR	
Retención de humedad (saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente)	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	
Calcio	Aluminio de cambio
Magnesio	Saturación de Bases
Potasio	Carbono Orgánico
Sodio	Textura
Fósforo disponible	pH (unidades)

2.3.2.1.5 Hidrología



Recopilación y análisis de la información

Para el área de influencia del componente hidrológico, se identificaron los cuerpos de agua con probabilidad de ser afectados por la infraestructura del Proyecto, así como las subcuencas y microcuencas aferentes, para el respectivo análisis hidrológico, de esta manera se recopiló la información hidrológica a nivel mensual en el IDEAM de las estaciones localizadas en la zona de estudio. Asimismo, se utilizó cartografía oficial del IGAC e información disponible en las Corporaciones Autónomas sobre POMCAS o POTS, a partir de los cuales se evaluó el comportamiento espacial y temporal de las variables climatológicas e hidrológicas. La cartografía fue empleada para la delimitación y estimación de las características morfométricas de las cuencas de interés.

Se realizó el análisis del tipo y distribución de las redes de drenaje, los sistemas lénticos, permanentes e intermitentes, descripción y localización de la red hidrográfica; además del régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes presentes dentro del área de estudio.

La clasificación hidrográfica de las cuencas se realizó con base en lo establecido en el mapa de Zonificación Ambiental de Colombia desarrollado por el IDEAM (2010), y mencionado dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en marzo de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y plasmadas igualmente dentro del Decreto 1640 de Agosto 02 de 2012 del MADS y la Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia del IDEAM (2013), de los cuales se derivan para el territorio colombiano: 5 Áreas Hidrográficas, 41 Zonas Hidrográficas y 309 Subzonas hidrográficas.

Los datos registrados por las estaciones fueron analizados y procesados para determinar tendencias, anomalías y periodos incompletos, con esto se llevó a cabo un análisis de consistencia y homogeneidad de los registros que permitiera identificar y evaluar datos anómalos a fin de reducir la incertidumbre y aumentar la confiabilidad en los resultados que se obtengan a partir de ellos.

Identificación de sistemas lénticos y lóticos

La identificación de la red hidrográfica y el inventario de fuentes de agua, incluidos los sistemas lénticos y lóticos se realizó a partir de análisis cartográfico y se verificará en las salidas de campo, de esta manera se presenta el Mapa de red hidrográfica a escala 1:25.000, incluidos los sistemas lénticos y lóticos (de carácter temporal y permanente), así como las cuencas hidrográficas existentes dentro del área de influencia del componente, incluyendo zonas de recarga y la posible conectividad con el túnel. Se establecieron los patrones de drenaje a nivel regional de las corrientes principales. El mapa de localización de las corrientes y cuerpos de agua en relación con el túnel se realizará a escala 1:10.000 o más detallada.

Clasificación de cuencas

Se clasificaron las cuencas de acuerdo con la estructura establecida por el IDEAM para la ordenación y manejo de cuencas contemplada en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Descripción de la red hídrica

Se hizo la descripción de la red hidrográfica de la fuente o fuentes intervenidas o que pueden ser afectadas determinando para ello las características morfométricas de las cuencas aferentes.

Las características morfométricas determinadas a partir de la cartografía son área y densidad de drenaje, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce mediante la metodología de Taylor, determinación del tiempo de concentración mediante la metodología de Kirpich, Giandotti, y Témez, así como el índice de compacidad.

Caracterización hidrológica

Con los caudales medios mensuales multianuales se determinó la distribución temporal de los caudales y el régimen hidrológico de las principales corrientes y de aquellas a intervenir (monomodal o bimodal); se determinarán los caudales característicos para diferentes probabilidades de ser igualados o excedidos mediante la curva de duración de caudales.

Se realizó la identificación de la dinámica fluvial de las fuentes que puedan ser afectadas por el proyecto, así como las posibles alteraciones de su régimen natural – relación temporal y espacial de inundaciones. La dinámica fluvial se realizó mediante el análisis multitemporal de fotografías aéreas, imágenes de Google Earth u otra información que permita la interpretación y análisis multitemporal y divagación de los cauces principales.

- Aforos para corrientes de agua superficiales

Acorde con la localización del proyecto UF2 y la localización de infraestructura de apoyo, se realizaron aforos sobre el río Sumapaz y quebradas tributarias del área de influencia. Los cuales cumplirán las guías, procedimientos y términos de referencia establecidos para la actividad, de tal forma que sean avalados por la autoridad ambiental, interventoría y ANI. Las mediciones se llevarán a cabo mediante instrumentos apropiados como medidores de velocidad tipo molinete, contador de revoluciones OTT, varillas de vadeo, malacate, bote y herramienta menor.

- Batimetrías en fuentes de agua superficiales

Para la UF 2 se realizaron batimetrías sobre el río Sumpaz y cuerpo hídrico que cruza el ZODME ubicado en el predio del señor Luis Parada, cumpliendo con los términos de referencia, guías y procedimientos de tal forma que sean avalados por la autoridad ambiental, interventoría y ANI.

2.3.2.1.6 Calidad de agua

 Basados en el inventario de fuentes hídricas del área de estudio se realizó la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las fuentes de agua, tanto de tipo léntico como lotico, que puedan verse directa o indirectamente afectadas por el desarrollo de las actividades en sus diferentes etapas. Estos análisis de calidad de agua se realizaron para los parámetros establecidos en la Tabla No. 5 de los Términos de Referencia bajo el numeral 5.1.6.1, de acuerdo a la actividad generadora de intervención. Estos parámetros se muestran a continuación en Tabla 17.

Tabla 17 Parámetros a monitorear en aguas superficiales

Parámetros a Medir Tabla 5 TDR - Cuerpos de agua (Aplica para captaciones, vertimientos y corrientes intersectadas por el proyecto).	Parámetros a Medir Tabla 5 TDR - Aguas de infiltración de los túneles	
	COMPONENTE AGUA	COMPONENTE SEDIMENTOS
Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables.		
Conductividad Eléctrica	Temperatura	Granulometría Sedimentos Fondo
pH	Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables.	Densidad Específica Sedimentos Fondo
Turbiedad	Conductividad Eléctrica	Porosidad Sedimentos Fondo
Color real	pH	Carbón orgánico total Sedimentos Fondo
Oxígeno Disuelto	Turbiedad	Demanda béntica Sedimentos Fondo
DQO	Color real	Sulfuros ácidos volátiles AVS en el agua de poros Sedimentos Fondo
DBO5	Oxígeno Disuelto	Capacidad de intercambio catiónico* Sedimentos Fondo
Nitrógeno Total Kjeldahl	DQO	Zinc Total (Zn)

Parámetros a Medir Tabla 5 TDR - Cuerpos de agua (Aplica para captaciones, vertimientos y corrientes intersectadas por el proyecto).	Parámetros a Medir Tabla 5 TDR - Aguas de infiltración de los túneles	
Fósforo Total	DBO5	Níquel Total (Ni)
Aceites y Grasas	Nitrógeno Total Kjeldahl	Cobre Total (Cu)
Alcalinidad Total	Fósforo Total	Cromo hexavalente
Dureza Cálctica	Aceites y Grasas	Grasas y aceites Sedimentos Fondo
Fenoles Totales	Alcalinidad Total	Fenoles Sedimentos Fondo
[Metales y Metaloides]	Dureza Cálctica	Hidrocarburos totales Sedimentos Fondo
Arsénico Total (As)	Fenoles Totales	Potencial de oxidación - reducción para el agua de poros. Sedimentos Fondo
Bario Total (Ba)	[Metales y Metaloides]	Carbono orgánico disuelto en el agua de poros Sedimentos Fondo
Cadmio Total (Cd)	Arsénico Total (As)	Sulfuros en el agua de poros. Sedimentos Fondo
Zinc Total (Zn)	Bario Total (Ba)	Nitrógeno Amoniacal en el agua de poros. Sedimentos Fondo
Cromo Total (Cr)	Cadmio Total (Cd)	
Mercurio Total (Hg)	Zinc Total (Zn)	
Níquel Total (Ni)	Cromo Total (Cr)	
Plata Total (Ag)	Mercurio Total (Hg)	
Plomo Total (Pb)	Níquel Total (Ni)	
Selenio Total (Se)	Plata Total (Ag)	
Cobre Total (Cu)	Plomo Total (Pb)	
[C. Bacteriológica]	Selenio Total (Se)	
Coliformes Totales	Cobre Total (Cu)	
Coliformes Fecales	[C. Bacteriológica]	
	Coliformes Totales	
	Coliformes Fecales	

Fuente: Resolución 0751 de 2015

La toma de muestras para análisis de laboratorio, análisis in situ, preservación y transporte se realizará por personal técnico de un laboratorio de calidad de agua debidamente acreditado, siguiendo los métodos de la American Water Works Association - AWWA y la American Public Health Association – APHA para garantizar una muestra representativa. Para cada muestra se tendrá su cadena de custodia y será enviada antes de 24 horas de su recolección a un laboratorio certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, siguiendo los métodos estandarizados de APHA –AWWA – WPCF para garantizar una muestra representativa.

Aqua Superficial

El trabajo de campo se efectuó entre los días 8 de agosto y 8 de septiembre de 2017 en tres (3) puntos sobre el río Sumapaz, 9 en cuerpos de agua en la margen del río que incluyen un (1) punto léntico y ocho (8) lóticos.

Todos los trabajos se efectuaron dentro de los municipios del Boquerón y Melgar en el departamento del Tolima.

Este trabajo se desarrolló principalmente en dos etapas:

- Etapa de preparación

En la etapa de preparación se ajustan los procedimientos esenciales para llevar a cabo de una manera satisfactoria los demás procesos articulados al estudio. En ésta se lleva a cabo toda la planeación y programación para que la fase de campo se desarrolle sin ningún inconveniente.

Los puntos de monitoreo de calidad de aguas superficiales se definieron previamente en oficina siguiendo los lineamientos establecidos en los Términos de referencia expedidos por ANLA, se identifican a partir de información hidrográfica suministrada por el consorcio base cartográfica del IGAC.

- Etapa de campo

El monitoreo de calidad del agua se realizó en los puntos planteados en la sobre el río Sumapaz y las áreas anexas como el ZODME. Estos muestreos son de tipo integrado en la profundidad y en la sección transversal, siempre y cuando las características del cuerpo de agua lo permitan. Para todos los puntos sobre los hidrosistemas se llevó a cabo la toma de muestras para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica.

La toma de muestras se realizó siguiendo el instructivo del procedimiento del laboratorio AMBIUS S.A.S. (Muestreo de Aguas I-PMO01-01). El trabajo de campo desarrollado para la toma de mediciones in situ y colecta de muestras de agua para los posteriores análisis de laboratorio, se llevó a cabo por personal de la empresa AMBIUS S.A.S., con base en las disposiciones de la EPA, en los textos de la APHA-AWWA-WPCF; APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), en el Standard Methods Edición 22 (2012) y en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (2010).

Figura 4 Actividades de la etapa de preparación



Fuente: Ambius S.A.S. 2017.

Para la toma de las muestras de agua se tomaron muestras integradas en los puntos ubicados sobre el río Sumapaz ya que permitía el procedimiento, sobre los demás puntos se realizaron tomas puntuales. Para esto se hizo uso de un balde previamente purgado, llenando los diferentes recipientes de vidrio ámbar o plástico opaco según se requiriera (Fotografía 1). Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad y oxígeno disuelto se realizaron in situ con la ayuda de un equipo multiparámetro marca HACH®, HQ40d; el cual se calibró previamente y fue verificado en campo (Fotografía 2).

En el caso de los parámetros bacteriológicos como coliformes, y la toma de muestras para grasas y aceites se realizó directamente de la fuente de agua en cada punto de muestreo de aguas superficiales, esto de acuerdo a los protocolos de muestreo en los que se define este criterio (Fotografía 3).

Fotografía 1 Toma de muestras de agua superficial.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

Fotografía 2 Toma de mediciones *in situ*.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

Fotografía 3 Toma de muestra de coliformes y grasas y aceites.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

Basados en los resultados de los análisis de calidad de agua (en especial pH, dureza del calcio, alcalinidad) y con la fórmula específica definida para su cálculo, se elaboró el cálculo del índice de Langelier (es el índice de saturación del agua útil para determinar las tendencias corrosivas o incrustantes en del agua para uso doméstico e industrial) y de la capacidad Buffer (tampón/reguladora) en los cuerpos de agua analizados a fin de implementar las medidas de gestión ambiental respectivas.

Con los resultados del análisis de los parámetros de oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitratos, DBO5, fosfatos, sólidos disueltos totales; turbiedad, temperatura del agua y del ambiente se estimó el Índice de calidad de agua (ICA), así mismo, se estimó el índice de alteración del potencial de la calidad de agua (IACAL).

Sedimentos

- Etapa de preparación

En la etapa de preparación se ajustan los procedimientos esenciales para llevar a cabo de una manera satisfactoria los demás procesos articulados al estudio. En ésta se lleva a cabo toda la planeación y programación para que la fase de campo se desarrolle sin ningún inconveniente (Figura 5).

Figura 5 Actividades de la etapa de preparación



Fuente: Ambius S.A.S. 2017.

- Etapa de campo

Para todos los puntos sobre el río Sumapaz se llevó a cabo la toma de muestras para la caracterización fisicoquímica de sedimentos siguiendo el instructivo del procedimiento del laboratorio AMBIUS S.A.S. (Muestreo de Lodos y Sedimentos I-PMO01-03). El trabajo de campo desarrollado para la toma de muestras para los posteriores análisis de laboratorio, se llevó a cabo por personal de la empresa AMBIUS S.A.S., con base en las disposiciones de la EPA y teniendo en cuenta las metodologías propuestas por ICONTEC (2009) en las Normas Técnicas Colombianas NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 3656, NTC 4711 y NTC 5667-15, así como la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2010).

Para la toma de las muestras de sedimentos se tomaron muestras integradas en cada uno de los puntos ubicados sobre el río Sumapaz. Para esto se tomaron sobre cada sección transversal varias submuestras haciendo uso de una draga y un balde previamente purgados. Posteriormente con la ayuda de una pala plástica se homogenizó la muestra y se trasladó la misma a bolsas plásticas y demás recipientes requeridos para cada uno de los análisis a realizar posteriormente en el laboratorio (Fotografía 4).

Las muestras fueron rotuladas y almacenadas en neveras isotérmicas con su respectiva refrigeración, registrando correctamente en formatos de campo la información correspondiente como fecha y hora de muestreo, responsable de la toma, origen y otras observaciones pertinentes.

Fotografía 4 Toma de muestras de sedimentos, río Sumapaz.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

- Etapa de Laboratorio

Los análisis de muestras se realizaron por parte de laboratorios acreditados ante el IDEAM para los diferentes parámetros a evaluar en los sedimentos colectados (Anexo C). A continuación en la Tabla 18, se resume la información correspondiente al trabajo ejecutado, indicando los métodos y técnicas utilizadas, así como el laboratorio que realizó los análisis para cada uno de los parámetros caracterizados.

Tabla 18 Variables evaluadas y tipo de análisis realizado en laboratorio.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA	LABORATORIO A CARGO DEL ANÁLISIS
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*	cmol(+)/Kg ss	NTC 5268:2014	Extracción acetato de Amonio 1N pH7,0, Titulometria	CHEMILAB
Carbono Orgánico Total (COT)*	%	Digestión vía húmeda	(Walkley-Black) - Métodos analíticos de laboratorio de suelos - IGAC (Ed. 6 de 2006)	LMB
Cobre Total*	mg CU/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111 (Ed. 22 2012)	LMB
Cromo Total*	mg Cr/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111D (Ed. 22 2012)	LMB
Fenoles	mg Fenol/Kg)	Fotométrico directo	APHA-AWWA-WEF SM 5530 B, C: Phenols - Cleanup Procedure - Fotométrico directo (Modificado) (Ed. 22 2012)	SGS
Grasas y Aceites*	mg/kg	NTC 11464	EPA 9071 B	PRODYCON
Hidrocarburos totales (TPH)*	mg/kg	NTC 11464	EPA 9071 B	PRODYCON
Níquel Total*	mg Ni/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-	LMB

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA	LABORATORIO A CARGO DEL ANÁLISIS
			AWWA-WEF SM 3030 - 3111B (Ed. 22 2012)	
Textura - Granulometría*	g	Granulometría de sedimentos mediante tamizado y agitado en columna de tamices	ESCALA UDDEN/WENTWORTH- (NORMA NTC 1522, BALE & KENNY 2005, KENNY & SOTHERAN 2013)	ECOMAR
Zinc Total*	mg Zn/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111B (Ed. 22 2012)	LMB
Densidad Especifica o Peso Especifico	mg/kg	-	LBC 371 Anderson and Wilson	DOCTOR CALDERON
Porosidad	%P/P	Gravimetría	LBC 289	DOCTOR CALDERON
Demanda Béntica de Oxígeno*	g/m2 día	Respirómetro	EPA 1979	MCS
Sulfuro Acido Volátil	mg S ₂ -L	Yodométrico	SM 4500 S ₂ F	DOCTOR CALDERON
Potencial Redox	Unidades de pH	Electrometría	SM 2580B	CHEMILAB
Sulfuros en Agua de Poros*	mg S ₂ -L	Yodométrico	SM 4500 S ₂ F	CHEMILAB
Nitrógeno Amoniacal en Agua de Poros	mg/L NH ₃ -N	Colorimetría	SM 4500 NH ₃ -B, Asian Journal of Applied Sciences 2009.2, (4):363-371	CHEMILAB

* Parámetro acreditado.

Fuente: Chemilab S.A.S., Prodycon S.A.S., MCS S.A.S., SGS Colombia S.A.S., LMB S.A.S. ECOMAR S.A.S.

- Etapa de análisis

Se efectuó una interpretación de las concentraciones obtenidas para cada uno de los parámetros de sedimentos evaluados, teniendo en cuenta la asociación entre variables y los límites permisibles en normas internacionales y/o valores de referencia de bibliografía especializada.

Agua Subterránea

La selección de los sitios para el muestreo de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas se determinó a partir del modelo hidrogeológico conceptual y de los sistemas acuíferos presentes en cuencas y/o subcuencas hidrogeológicas. Es importante destacar que las variaciones naturales de los niveles y la calidad de las aguas subterráneas están íntimamente relacionadas con las variaciones espaciales y temporales de variables meteorológicas e hidrológicas que definen las diferentes épocas climáticas. Desde el punto de vista hidrogeológico es importante conocer el tipo de acuífero a monitorear teniendo en cuenta:

- El marco geológico, geofísico y estructural
- El modelo de flujo que defina sus zonas de recarga, tránsito y descarga
- Las relaciones río- acuífero, sus parámetros hidráulicos, sus características hidrogeoquímicas naturales.
- La recarga proveniente de la precipitación, sus recursos y reservas
- La vulnerabilidad y las fuentes potenciales puntuales y/o difusas de contaminación.

Todo lo anterior permitió definir lo sitios y la frecuencia de muestreo de la calidad y cantidad mediante modelos estadísticos y de flujo y transporte de contaminantes.

A partir de este análisis se determinaron los puntos de monitoreo de aguas subterráneas donde se realizó la toma de muestras para el análisis de los parámetros indicados en la siguiente tabla de acuerdo con lo establecido en los términos de referencia (TR) y en el Decreto Ambiental Único 1076 de 2015 (Tabla 19):

Tabla 19 Parámetros a analizar de acuerdo con los TR y el Decreto 1076 de 2015

PARÁMETROS A ANALIZAR	
Retención de humedad (saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente)	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	
Calcio	Aluminio de cambio
Magnesio	Saturación de Bases
Potasio	Carbono Orgánico
Sodio	Textura
Fósforo disponible	pH (unidades)

Para lograr un muestreo representativo dentro de un acuífero, el método debe facilitar la extracción de muestras que reflejen la composición temporal y espacial real del agua subterránea que se está estudiando³.

El método de muestreo también refleja las complejidades del flujo de agua subterránea, el mecanismo de flujo del acuífero (por fracturas o poros), la dirección del flujo y los gradientes hidráulicos en el acuífero, que pueden producir flujos naturales fuertes hacia arriba o hacia debajo de la columna de agua del pozo. Tradicionalmente, se emplean dos métodos comunes de muestreo, conocidos como muestreo por bombeo y muestreo de profundidad; ambos tienen sus usos y limitaciones, los cuales se deben considerar plenamente cuando se identifica el alcance para su uso.

La toma de muestras de aguas subterráneas para análisis de laboratorio, análisis in situ, preservación y transporte se realizó por personal técnico de un laboratorio de calidad de agua debidamente acreditado por el IDEAM.

Los puntos para la realización de los monitoreos se definieron estableciendo la ubicación del proyecto con respecto a las unidades de suelos determinadas por el IGAC a la escala 1:100.000.

2.3.2.1.7 Usos del agua

Con base en la información recopilada de concesiones de agua (CORTOLIMA Y CAR) y la verificación en campo a través de una visita, se elaboró el inventario de usos y usuarios del agua legales y no legales sobre las corrientes en el área de influencia del proyecto, mediante consultas directas a la comunidad y las asociaciones de usuarios que puedan existir en la región.

Se determinaron los posibles conflictos actuales o potenciales sobre la disponibilidad y usos del agua, en el caso en que el proyecto los interfiera, teniendo en cuenta el análisis de frecuencias de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno.

Se tuvo como premisa el concepto que un punto de agua subterránea, es un lugar u obra civil que permite el acceso al agua subterránea, incluyendo pozos, aljibes, surgencia natural o manantial que corresponden a descargas del acuífero; y lagos o lagunas cuando son salidas o afloramientos de acuíferos someros.

³ Tomado del documento NTC-ISO 5667 – 11 “Guía para el muestreo de aguas subterráneas”

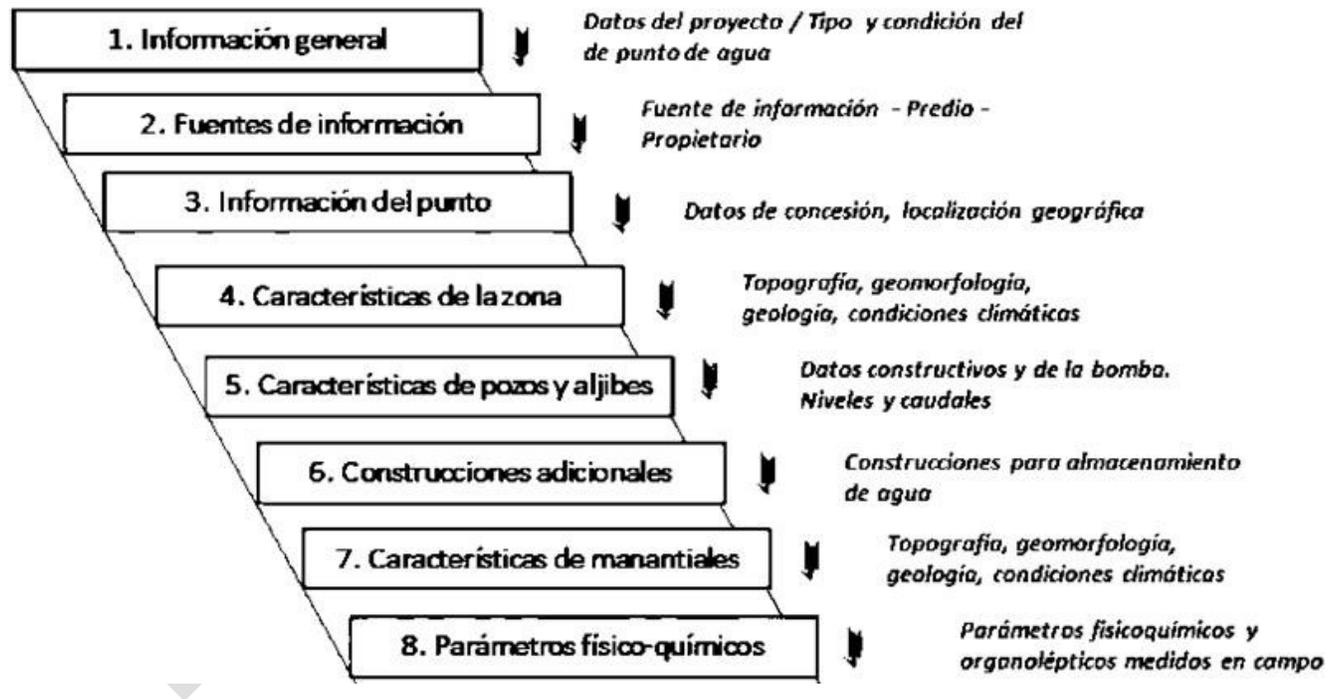
El inventario de puntos de agua subterránea es una de las actividades realizadas para estudio hidrogeológico (MHC), ya que a través del análisis de los datos recolectados en campo, y de la información geológica y geofísica (en este caso geoelectrónica mediante los SEV), se pueden plantear y estimar aspectos sobre el funcionamiento del sistema acuífero.

Esta actividad se inició mediante la compilación y análisis de información secundaria sobre captaciones de agua subterránea, disponible en los institutos de investigación del nivel nacional o regional, entidades territoriales, instituciones académicas, o en los expedientes de trámites de concesión otorgados por la autoridad ambiental competente.

Los puntos de agua subterránea identificados en la campaña de campo y los recopilados en información secundaria, se localizaron en un mapa base a escala apropiada (con información actualizada de curvas de nivel; redes hidrográficas; vías primarias, secundarias y terciarias; redes eléctricas; poliductos; caseríos; veredas; toponimia y grilla), utilizando el SIG del proyecto que permita visualizar la información espacial, que permiten planear más eficientemente los recorridos para levantar la información complementaria en campo.

Para el levantamiento de la información en campo se utiliza el Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea- FUNIAS, diseñado por INGEOMINAS, IDEAM y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el FUNIAS, se integrará la información de la ubicación geográfica de los puntos (coordenadas y cota), profundidad del nivel estático, caudal de producción, tiempo de bombeo, características constructivas de pozos o aljibes (profundidad, diámetro, diseño de construcción en el caso de pozos, columna litológica), parámetros físico químicos in situ (conductividad eléctrica, pH y temperatura); datos del predio y propietario, uso del agua, capacidad instalada (potencia de la bomba), entre otros según el caso.

Figura 6 Información contenida en el formulario único nacional de inventario de puntos de agua - FUNIAS



Fuente: INGETEC.

Una vez levantada la información en campo, se almacenó en una base de datos (GDB punto hidrogeológico), la cual debe ser compatible con el sistema de información geográfica existente en la autoridad ambiental.

2.3.2.1.8 Hidrogeología

Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC

El plan metodológico para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual obedece al desarrollo de las siguientes actividades en un orden lógico y secuencial:

Revisión de la información de los Estudios y Diseños de la unidad funcional UF2, la cual se ubica la UF2 paralela al río Sumapaz con una longitud total de 5,2597 km entre las abscisas K37+000 y K43+000 tomando como referencia Melgar al W y El Boquerón al E. La compilación y análisis de la información de referencia se realiza con el objetivo de contextualizar las características y condiciones topográficas, geológicas e hidrogeológicas del área de influencia de la Unidad Funcional 2.

La información de referencia recopilada y analizada corresponde a:

- 1) ANI-INFRACON- Estudios y diseños en la etapa de factibilidad para el proyecto de ampliación Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot – GEOTUNELES. Túneles Palmichala, Nariz del Diablo, Divino Niño y Ermitaño. Informe Geomecánico – Junio de 2015.
- 2) ANI- CONALVIAS – Ampliación Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. GEOTUNLES BOMA INPASA- Estudio de Geología y Geotecnia. Estudios técnicos para Tramos Nuevos y Mejoramiento. Julio de 2015.
- 3) Túneles y asistencia Técnica- TAT. Ampliación tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Diseño preliminar de portales para los túneles.
- 4) INGETEC S.A. Informe final del OTRO SI N° 2 AL CONTRATO N°68IF2C7748-10-2016; Estudio conceptual: Geología estructural y geotecnia de la UF2. Junio de 2017. Informe y Anexos.
- 5) INGEOMINAS (1998). Geología de la Plancha 246 - Fusagasugá a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J. y Ulloa, C.,
- 6) INGEOMINAS (1999). Geología de la Plancha 245 - Girardot a escala 1:100.000.
- 7) INGEOMINAS (1999a). Geología de la Plancha 265 - Icononzo a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J., Caicedo, J.C. & Ulloa, C.
- 8) INGEOMINAS (2000). Geología de la Plancha 264 - Espinal a escala 1:100.000. Compilada por Caicedo, J. C. & Terraza, R.
- 9) INGEOMINAS (2001). Memoria explicativa de la Plancha Geológica 246 - Fusagasugá a escala 1:100.000. 76 p. Compilada por Acosta, J. & Ulloa, C.
- 10) INGEOMINAS (2002). Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J. & Ulloa, C.
- 11) INGETEC S.A. (1998). Estudios para la Concesión de la carretera Av. Boyacá - Bosa - Granada - Girardot.

Elaboración del modelo Geológico-estructural con base en el estudio Informe Conceptual Geológico – Geotécnico UF-2 (INGETEC, junio 2017), información de referencia proporcionada por el Consorcio Ruta 40 como documentación de la Fase 2 desarrollada por el originador como información parcial del Concesionario para los cuatro túneles cortos previstos sobre el trazado del tercer carril de la Autopista Bogotá- Girardot; el documento elaborado por el Consorcio INGETEC S.A y BATEMAN CIA LTDA (1998), que incluye los estudios de factibilidad para la Concesión Avda. Boyacá- Bosa- Granada- Girardot, en donde se involucra el túnel de Sumapaz con una longitud del orden de 4.2 km; los documentos técnicos producidos por GEOTUNELES y Túneles y Asistencia Técnica – TAT en el 2015 e información oficial del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000 planchas geológicas 246 y 265.

A partir de este modelo se identificaron las principales unidades litoestratigráficas y estructuras presentes en el área de influencia establecida para el componente. Se incluye la información hidrológica correspondiente a series de tiempo de precipitación y caudales, de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) para la región que enmarca el proyecto como fuente de análisis

para la dinámica superficial en el área. La cartografía básica corresponde a la base topográfica IGAC escala 1:25.000.

Geoeléctrica

Para el modelo Hidrogeológico Conceptual del área de influencia UF-2, se ejecutaron 6 sondeos eléctricos verticales (SEV) con tendidos entre 200 y 250 m en cuya campaña se permitió obtener información de las resistividades desde 20 hasta 50 m de profundidad.

Hidrología superficial - Balance Hídrico superficial

- Recarga del Acuífero

Para determinar la recarga del acuífero por precipitación se realizó el balance hídrico el cual se basa en el principio de continuidad, resumiéndose mediante la siguiente formulación:

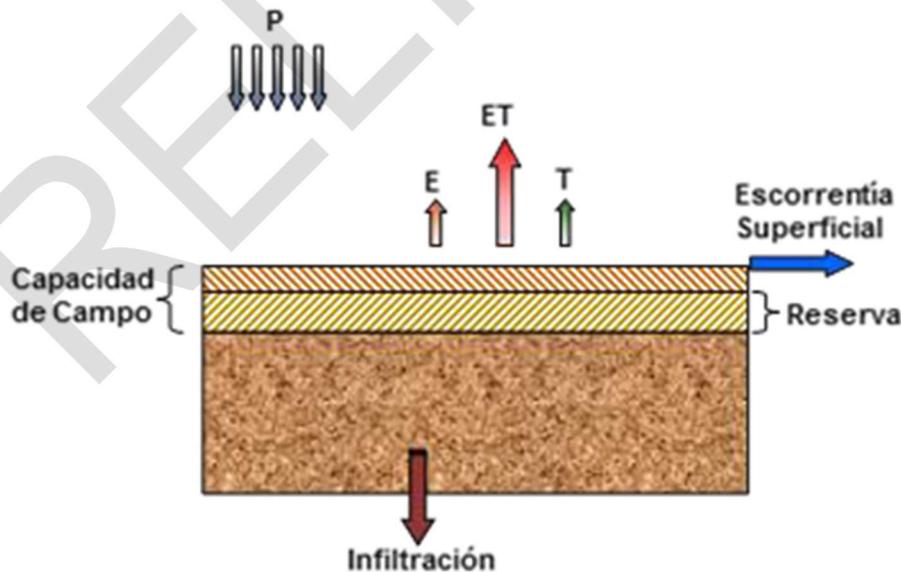
Entradas = Salidas + Almacenamiento

Donde en forma general las entradas corresponden a la precipitación (P) total media de la cuenca, las salidas corresponden a la combinación de la evaporación (E) y la transpiración (T) de las plantas, denominada evapotranspiración (ET), y a la escorrentía superficial (ES); el almacenamiento corresponde al volumen de agua almacenado en las diferentes capas del subsuelo (S). Teniendo en cuenta las anteriores definiciones la formulación replanteada del balance hídrico, es:

$$P = ET + ES + S$$

La cual se representa esquemáticamente la Figura 7

Figura 7 Esquema del Balance Hídrico



Fuente: INGETEC (2017)

Para realizar el balance hídrico, se utilizó la información recopilada en el IDEAM de las series de precipitación total mensual de las cuencas localizadas en cercanías del sitio de interés, los registros de los parámetros climatológicos disponibles para la estimación de la evapotranspiración potencial y los registros de caudales

medios que determinaron la escorrentía. Para determinar el almacenamiento del suelo se utilizó como información base la textura de los suelos y los usos del suelo encontrados en estudios realizados con anterioridad.

Con esta metodología se realizó el balance hídrico lo que permitió definir en condiciones medias multianuales la infiltración o recarga de los acuíferos expresados también en porcentaje de la precipitación.

Hidrogeoquímica

El 8 de septiembre de 2017 se realizó la toma de muestras de agua subterránea de dos puntos localizados en el área de influencia del proyecto (perforaciones) para la caracterización hidrogeoquímica, en los cuales se determinó los valores y/o las concentraciones de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, turbidez, acidez, alcalinidad, arsénico, bario, bicarbonatos, cadmio, calcio, carbonatos, cloruros, cobre, coliformes fecales, coliformes totales, color, cromo, DBO, DQO, Dureza cálcica, dureza total, fenoles, fósforo, grasas y aceites, magnesio, mercurio, níquel, nitrógeno, plata, plomo, potasio, selenio, sodio, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sulfato y zinc.



Interpretación Modelo Conceptual

Los datos obtenidos en los pasos anteriores sirvieron para la interpretación hidrogeológica, logrando la estimación y evaluación de las características geométricas, su distribución espacial representada por ejemplo, en mapas en planta y secciones de análisis acorde con el área de influencia establecida. Conociendo las superficies piezométricas (acorde con la información de los estudios de ingeniería previos para la UF-2) se estimó la dinámica del acuífero o sistema acuífero y las direcciones del flujo subterráneo.

Según las especificaciones y características de las unidades geológicas asociadas a la Unidad Funcional – UF2, se presenta el modelo hidrogeológico conceptual donde se identifica las zonas de recarga y descarga y los tipos de acuíferos presentes; se estimó las direcciones de flujo del agua subterránea según la disponibilidad de información básica para ello. Lo anterior, se plasmó en el mapa hidrogeológico para la UF-2 con mapas y secciones hidrogeológicas (planta y perfiles) para el área de influencia del componente hidrogeológico, acorde con lo estipulado en el modelo de almacenamiento geográfico establecidos en la Res. 2182 de 2016 de ANLA.

Los resultados obtenidos en la revisión, validación y actualización del inventario y caracterización de puntos de agua y los resultados del estudio geoeléctrico, fueron sometidos a procesos de correlación y geoprocésamiento para establecer la distribución continua de variables como cabezas piezométricas, la geometría de acuíferos, la calidad de agua del sistema hidrogeológico y variaciones litológicas. Toda la información se incluyó en un sistema de información geográfica bajo plataforma ARCGIS. Se consignó toda la información cartográfica del componente hidrogeológico acorde con el modelo de almacenamiento geográfico y bajo los dominios establecidos en la Res. 2182 de 2016 de ANLA.

Modelo Hidrogeológico Numérico – MHN

La construcción del modelo numérico se basó en el modelo hidrogeológico conceptual, y tuvo en cuenta la topografía del año 2017, las diferentes pruebas realizadas en campo y las características de las obras proyectadas.

La construcción del modelo se llevó a cabo teniendo en cuenta el orden establecido por el programa, por lo tanto, inicialmente se define la configuración de la malla y el número de capas que se van a modelar, así como la topografía de cada una. Se establecieron las diferentes unidades hidrogeológicas y se les asignó los correspondientes parámetros hidráulicos, las condiciones de frontera y zonas de balance como datos de entrada. También se establecieron las corrientes de agua y sus características.

2.3.2.1.9 Geotecnia

Se realizó con base en la información de ingeniería, la zonificación y cartografía geotécnica con base en la información y caracterización geológica – geotécnica y de amenaza sísmica. Se realizó la descripción

geotécnica de las condiciones existentes en el área de influencia asociada principalmente a las áreas y sitios de intervención directa.

Para los tramos de túnel, se realizó la sectorización geotécnica a lo largo de los túneles propuestos con base en los resultados de los estudios de ingeniería, enfocada a identificar sectores con potenciales comportamientos geomecánicos e hidrogeológicos homogéneos y la estabilidad del macizo en cada sector.

2.3.2.1.10 Atmósfera

Meteorología

Con el propósito de realizar la caracterización climatológica de la zona, se obtuvieron los registros de las estaciones climatológicas que se encuentran cercanas al área de estudio, de esta manera se recopiló la información climatológica a nivel mensual en el IDEAM y en las empresas encargadas de la operación de estaciones meteorológicas que operan en la zona. Los registros climatológicos a recopilar serán de los siguientes parámetros:

- Temperatura media, máxima y mínima diarias.
- Presión atmosférica promedio mensual.
- Precipitación media diaria, mensual y anual.
- Humedad relativa media, máxima y mínima mensual
- Viento: dirección y velocidad.
- Radiación solar
- Nubosidad
- Evaporación.

Se verificó si el IDEAM tiene registros de presión atmosférica y radiación solar en las estaciones localizadas en la zona ya que no todas las estaciones registran este tipo de información.

De los listados de estaciones climatológicas operadas por el IDEAM se seleccionaron las estaciones que son representativas bajo los criterios de tipo de estación, período de registro, localización en planta y elevación.

Para la caracterización de los parámetros exigidos, y en el caso de no contar con información directa, se empleó información de radar, de la NOAA o de otras instituciones reconocidas a nivel internacional.

Caracterización climatológica

Se realizó un análisis de consistencia de las variables climatológicas mediante el procesamiento estadístico de las series entregadas por el IDEAM (Compleitud de los Datos / Datos Atípicos). Con base en la recopilación, análisis y procesamiento de la información de las variables climáticas, se estimó el comportamiento espacial y temporal en el área de Influencia. Se construyeron mapas de precipitación media anual (isoyetas), evaporación potencial y real, además de temperatura media anual de toda la cuenca y de la zona del proyecto.

Cálculo Evapotranspiración Potencial

Se determinó la evapotranspiración potencial mediante el método que mejor se ajuste a la información disponible y que son entre otros Penman - Monteith, Thornthwaite, Blaney y Criddle, Turc, método del tanque evaporímetro, etc.

Calidad de aire

El proceso de captura de información estará de conformidad con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Los estudios fueron realizados por laboratorios acreditados por el IDEAM tanto para la toma de muestras, como para los análisis de laboratorio respectivos.

Para la evaluación de la calidad del aire ambiental en el área de influencia del proyecto cuyos parámetros corresponde a: PST, partículas menores a 10 micras (PM-10), óxidos de azufre (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx), Monóxido de carbono (COx), estas mediciones se realizaron durante 18 días continuos en época seca de medición continua.

Para conocer el estado actual de la calidad del aire del área de influencia del Proyecto, se estableció una red de monitoreo compuesta por 4 estaciones de medición operadas por dos laboratorios tomando como referencia la información primaria de calidad de aire, obtenida por este consultor en la elaboración de los documentos PLAN DE ADAPTACIÓN DE LA GUÍA DE AMBIENTAL (PAGA), de las Unidades funcionales 1 y 3. Adicional se instalaron dos estaciones de monitoreo dentro del área de influencia de la UF2, en las cuales se realizaron mediciones durante 18 días en jornada continua. Para la toma de muestras análisis en las estaciones ubicadas en la UF1 y la UF3, se contrató al laboratorio Ambienqi Ingenieros S.A.S. Acreditado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios Ambientales – IDEAM. Mediante Resolución 2770 del 30 de diciembre de 2015. Para las estaciones de la UF2 se contrató el laboratorioK2 Ingeniería S.A.S., acreditado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios Ambientales – IDEAM. Acreditado mediante Resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 y resolución 0232 del 5 de febrero de 2017.

Para la ubicación de las estaciones de medición de la calidad del aire se tuvo en cuenta criterios como la presencia de comunidades vecinas, la rosa de vientos (dirección y velocidad del viento), la localización de la infraestructura que será construida y las Condiciones topográficas.

- Metodología de muestreo AMBIENCIQ INGENIEROS S.A.S.
- Medición de Partículas Suspendidas Totales (PST)

Para el monitoreo del Material Particulado, se adopta los métodos referenciados de la Resolución 2448 de 2010 IDEAM, por la cual se establecen los lineamientos de referencia de medición de contaminantes para el cumplimiento de la Resolución 610 de 2010 MAVDT actual MADS. Los valores obtenidos en los monitoreos, se deben comparar con los niveles máximos permisibles para contaminantes, mediante el criterio que establece la resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El método utilizado en la medición de concentración de partículas suspendidas totales consiste en hacer pasar una muestra de aire succionado por un motor a través de un filtro de fibra de vidrio secado y pesado previamente hasta peso constante, durante 24 horas continuas con un caudal entre 40 y 60 pies³/min a condiciones estándar.

La geometría del equipo muestreador obliga al aire que lo circunda a cambiar la dirección al menos en 90° antes de alcanzar el filtro horizontal, depositando allí las partículas que no se han sedimentado por la acción de la gravedad. El tiempo de muestreo (24±1 horas) y el caudal del aire que pasa a través del filtro de fibra de vidrio, se establecen mediante un programador de tiempo, un regulador y un registrador de flujo incorporados al equipo.

Una vez transcurridas las 24±1 horas de muestreo, el filtro con las partículas es secado y pesado nuevamente hasta peso constante. La diferencia de peso (dada en µg) antes y después del muestreo, dividida entre el volumen total del aire (dado en m³) que pasa a través del filtro durante las 24±1 horas de muestreo determinan la concentración de partículas suspendidas totales expresadas en µg/m³.

- Medición de material particulado menor a 10 micras (Equipos alto Volumen)

El método de muestreo utilizado en el equipo de alto volumen, consiste en hacer pasar una muestra de aire succionada por un motor a través de un filtro de cuarzo, secado y pesado previamente hasta peso constante, durante 24±1 horas con un caudal entre 36 y 44 pies³/min a condiciones estándar.

La geometría de la admisión del equipo muestreador hace que el aire pase a través de una malla y unos tubos en el interior de esta admisión para que haya clasificación por tamaño y separación del material particulado antes de alcanzar el filtro horizontal, en el cual las partículas menores o iguales a 10 micras son recolectadas durante un periodo específico de muestreo.

Los medios filtrantes se entregan pesados y codificados por parte del responsable del laboratorio, quién se responsabiliza de la información sobre los pesos de los mismos y los entrega al técnico encargado de cambiar las muestras; el técnico es responsable durante la salida y regreso de los filtros al laboratorio. Para proteger la integridad de los filtros, tanto los limpios como los utilizados, se transportan en un sistema porta filtro.

Una vez transcurridas las 24 ± 1 horas de muestreo, el filtro con material particulado es secado y pesado nuevamente hasta peso constante. La diferencia de peso (en μg) antes y después del muestreo, dividida entre el volumen total del aire (en m^3) que pasa a través del filtro durante las 24 ± 1 horas, determina la concentración de partículas expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los equipos utilizados y ubicados en las estaciones, corresponde a los recomendados por la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos, en el método 625/R-96-01a.

Se utilizó un equipo muestreador de alto volumen marca Tisch Environmental Inc. modelo TE-6070D-BL con control automático de flujo másico y tiempo. Los elementos de los equipos vienen dentro de una estructura metálica de aluminio anodizado con un cabezote (inlet) que selecciona el tamaño de partículas que ingresan al filtro. Consta de una unidad porta filtro (donde se ubica el filtro de cuarzo) ajustada a una carcasa que contiene un motor de 6,25 amperios, 745 vatios, 0,6 HP de potencia, 1800 rpm, tasa de flujo de 36 a 44 pies cúbicos por minuto y 110 voltios de energía. El motor va conectado a un programador de tiempo para las 24 ± 1 horas y a un medidor automático de flujo y un registrador de flujo entre 36 y 44 pies^3/min .

En laboratorio se empleó un desecador y una balanza analítica marca Ohaus con sensibilidad de 0,1 mg.

- Medición de Óxidos de Nitrógeno y Dióxidos de Azufre

El equipo de gases permite la colección de la muestra de aire para el análisis de NO_2 y SO_2 , consta de una caja metálica con tapa ecualizable y dos compartimientos. El primer compartimiento tiene una bomba de vacío, en el segundo compartimiento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a dos colectores de borosilicato (impingers) con vástago de vidrio que contienen la solución absorbente para NO_2 y SO_2 , y el otro vacío que hace las veces de trampa. Los valores obtenidos en los monitoreos, son comparados con los niveles máximos permisibles para contaminantes, mediante el criterio que establece el artículo 2 de la resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El aire es succionado por la bomba de vacío hacia el compartimiento donde se encuentra el tren de muestreo. Posteriormente, el gas entra al tubo distribuidor conectado a una serie de tubos de polipropileno, para el caso de los óxidos de nitrógeno y azufre; haciendo pasar el aire a analizar por el reactivo absorbente para el gas de interés. El flujo de aire es controlado por válvulas, que son protegidos a su vez por un filtro membrana y una trampa de burbujas. El tiempo de muestreo es de 24 ± 1 horas, al término de las cuales, se hace el cambio respectivo de los reactivos absorbentes, que son transportados al laboratorio en neveras para su conservación. Los óxidos de azufre se determinan en laboratorio como Dióxido de Azufre SO_2 , por lo tanto en adelante se hace referencia a los Óxidos de Azufre (SO_2), medidos como Dióxido de Azufre (SO_2).

El Dióxido de Azufre (SO_2) es absorbido del aire respirable en una solución de Tetracloromercurato de Potasio (TCM), formándose un complejo de Monoclorosulfonatomercurato (MSM), el cual resiste la oxidación por oxígeno del aire. Una vez en el laboratorio, el MSM, se hace reaccionar con Pararosanilina y Formaldehído para formar un compuesto de coloración intensa, Ácido Metilsulfónico de Pararosanilina. La absorbancia de este compuesto coloreado se mide espectrofotométricamente, a 548 ± 5 nm, de longitud de onda, y con un ancho de banda efectivo menor a 15 nm.

La determinación de los Óxidos de Nitrógeno presentes en la atmósfera, se determinan en laboratorio como NO₂, por lo tanto en adelante se hace referencia a los Óxidos de Nitrógeno NOX medidos como Dióxido de Nitrógeno.

El Dióxido de Nitrógeno presente en el aire ambiente es absorbido por una solución de NaOH-Arsenito de sodio. El análisis de laboratorio posterior es realizado usando un reactivo que conduce a la formación de un compuesto azo-colorante. La interferencia por posibles niveles altos de SO₂ se controla por adición de Peróxido de Hidrógeno antes del desarrollo del color. El Ozono no causa interferencias en los rangos normales de concentración atmosférica. (Hasta de 1.000 µg/m³). El color producido por el reactivo es medido en un espectrofotómetro a 540 nm.

La reacción de color se desarrolla por adición de Sulfanilamida y solución de N-(1-Naftil) – EtilendiaminaDihidrocloreuro (NEDA). El complejo coloreado se mide a 540 nm. (Reactivo Griess-Saltzman).

Se utilizaron muestreadores RAC para tres gases simultáneamente, donde se recolectaron muestras para la cuantificación de la concentración de Óxidos de Azufre y los Óxidos de Nitrógeno. Los componentes de los equipos vienen dentro de una caja metálica con tapa escualizable, la cual consta de dos compartimientos; en uno de ellos se encuentra la bomba de vacío, con las siguientes especificaciones: 1/6 de HP, 1,8 pie³/min, 29 in Hg. En el segundo compartimiento se halla el tren de muestreo, el cual va conectado a la bomba de vacío, con válvula de regulación para cada contaminante. Consta de un tubo distribuidor conectado a una serie de tubos de polipropileno, por medio de un dispositivo se hace pasar el aire de la muestra por el reactivo absorbente para el gas de interés (SO₂ y NOX en este caso). El flujo de aire es controlado por orificios críticos que son protegidos a su vez por un filtro membrana y una trampa de burbujas.

Las soluciones absorbentes se llevan medidas volumétricamente (50 ml de cada solución) y refrigeradas desde el laboratorio, hasta su instalación en los trenes de muestreo. Así mismo, son regresadas al laboratorio, en el recipiente en el que fueron llevadas inicialmente. Las soluciones se retiran una vez cumplen las 24±1 horas de burbujeo. Los encargados de las muestras son el responsable del laboratorio y el técnico que las cambia y transporta hacia y desde las estaciones de monitoreo.

- Medición de Monóxido de Carbono.

Para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire, el método utilizado es el de Absorción infrarroja, en la que se emplea un fotómetro no dispersivo (EPA 40 CFR Pt. 50 App.C). El método de referencia es basado en la capacidad del monóxido de carbono para absorber la energía de determinadas longitudes de onda y consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el monóxido de carbono mediante un fotómetro no dispersivo. Los valores obtenidos en los monitoreos, serán comparados con los niveles máximos permisibles para contaminantes, mediante el criterio que establece el artículo 2 de la resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La muestra de aire ingresa al equipo por una manguera de teflón y luego es llevada a un filtro para remover el material particulado. Posteriormente, la muestra es enviada a un convertidor donde el CO es convertido CO₂. En esta cámara se genera un rayo infrarrojo que recorre una distancia de 5 m a través de una serie de espejos, llegando a una unidad de detección.

El proceso de medición del monóxido de carbono CO se realizó por una hora diaria, durante los dieciocho (18) días monitoreados.

La concentración Monóxido de Carbono es medida en equipos Thermo Scientific que funcionan bajo el principio de infrarrojo no dispersivo (NDIR). El rango de medición está entre 0 y 200 ppm con sensibilidad de 0,05 ppm. La concentración de CO es automáticamente corregida por cambios de temperatura y presión, y referenciada a 0 °C, 20 °C y 25 °C a 1 atm de presión.

- Metodología de muestreo K2 Ingeniería

En los monitoreos se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (U.S. EPA) de los Estados Unidos de América y avalados por la legislación colombiana, tanto las soluciones para el muestreo como las muestras en sí, permanecieron en una cadena de frío y estas últimas se transportaron bajo cadena de custodia, lo cual permitió mantener la trazabilidad y calidad de los resultados. Los métodos utilizados en el monitoreo fueron los siguientes

- Medición de PST y PM10

Para el monitoreo de las partículas y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen se siguieron las recomendaciones de las normas de la U.S. EPA contenidas en:

- Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de partículas suspendidas totales Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice B: PST.
- Toma de muestras para la Determinación de Material Particulado como PM10 en la Atmósfera, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM10
- Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC.

El método consiste en hacer pasar una muestra de aire, succionada por un motor, a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente secado y pesado, durante 24 horas. Los flujos de operación se encuentran entre 1,02 y 1,24 (m³/min) para PM10 y 1,0 y 1,7 (m³/min) para PST. Para material particulado se utilizaron equipos de alto volumen Hi – Vol (Figura 8), los cuales fueron verificados al inicio del muestreo mediante el uso de metodología de orificios.

Al estar operando en éste rango de flujo, las muestras se colectaron por periodos de 24 horas. La concentración de la masa de las partículas suspendidas se calculó por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y del total del flujo de aire muestreado.

Figura 8 Esquema Muestreador Hi-Vol



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Equipos de Verificación

La verificación del equipo se realizó con un kit de calibración (Figura 9), este consta una resistencia de flujo variable, la cual es un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos; este kit de calibración posee la respectiva ecuación de calibración con su respectiva curva.

Figura 9 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Finalizado el tiempo de muestreo, el filtro se seca a 85°C por una hora en estufa, se lleva a temperatura ambiente en desecador y se pesa nuevamente. La diferencia de peso, es la masa (μg) neta, que dividida por el volumen de aire (m^3) muestreado durante las 24 horas, determina la concentración de partículas, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la determinación del material particulado, en el Laboratorio de K2 INGENIERÍA S.A.S. se utilizó una balanza digital OHAUS (Figura 9).

Figura 10 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La balanza digital (Tabla 20) utilizada en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. fue:

Tabla 20 Información de la balanza utilizada en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
8328240501	OHAUS PA214	2015-05-20	2018-05-20

- Medición de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (NO_2 y SO_2)

Toma de muestras y análisis para determinación de SO_2 , Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A: Pararrosalinina y Toma de muestras para determinación de NO_x , Método Jacobs N° EQN-1277-026: Arsenito de sodio.

Para realizar el análisis de SO_2 y NO_2 , se utilizó un equipo que opera mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para estos gases. El cálculo

de la concentración en 24 horas se determina mediante el flujo de muestreo, tiempo de operación del muestreador, concentración de SO₂ y NO₂ en la muestra y la curva de calibración correspondiente. El flujo requerido de 180 y 220 ml/min se logra mediante la utilización de orificios críticos, una vez que la bomba mantenga un vacío mínimo de 500 mm de Hg.

Los equipos utilizados para el muestreo de gases son los conocidos RAC tres gases que operan mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para cada NO₂ y SO₂.

Equipo Utilizado

El equipo muestreador de gases tipo RAC (Figura 11), consta de una caja metálica con tapa móvil y dos compartimentos. El primer compartimento tiene una bomba de vacío cuyas características cumplen las especificaciones recomendadas por la U.S. EPA 40 CFR App A ⁴ (motor de 1700 rpm, 0.5 HP de fuerza, presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). En el segundo compartimento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a tres colectores de vidrio de borosilicato (burbujeadores) que contienen la solución absorbente para NO₂, SO₂ y O₃ que hace las veces de trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra (24 horas). El sistema es protegido por un filtro de membrana de 8 µm colocado entre la entrada de la muestra y el primer burbujeador y por una trampa de humedad (sílice gel) colocada entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío.

Figura 11 Muestreador de Gases tipo RAC



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Adicionalmente, el colector de SO₂ va empotrado en una pequeña nevera refrigerada con hielo seco o hielo y una salmuera para mantener el sistema a una baja temperatura. Los gases, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno, fueron monitoreados mediante este equipo muestreador RAC, el cual es un instrumento que utiliza un sistema de absorción de gases con químicos húmedos.

Verificación RAC

La verificación se efectuó empleando una unidad tipo burbuja Gilibrator 2 o tubo cilíndrico graduado (Figura 12), siguiendo los pasos que se describe a continuación:

⁴ US EPA CFR 40 Appendix A to Part 50—Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) [Federal Register: Vol. 47, page 54899, 12/06/82 and Vol. 48, 17355, 04/22/83]

Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Las concentraciones atmosféricas de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) son medidas indirectamente por fotometría midiendo la intensidad de luz, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros. Para la cuantificación de los colores, es utilizado un espectrofotómetro como se observa en la Figura 13.

Figura 13 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La información sobre el espectrofotómetro utilizado en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
2L5L366001	Thermo Genesys 10	2016-05-16	2018-05-16

Fuente: Información de equipos y calibraciones de K2 INGENIERÍA S.A.S.

- o Medición de monóxido de carbono (CO)

Toma de muestras para determinación de CO, Método equivalente EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice C: Fotometría Infrarroja No Dispersiva.

El método de referencia se basa en la absorción de energía de determinadas longitudes de onda que tiene el CO y consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el CO mediante un fotómetro no dispersivo.

Para las mediciones de CO se realiza en tiempo real con analizadores infrarrojo no dispersivo CO12M Environmental S.A., (Figura 14). El CO12M representa la última evolución de la tecnología de detección de gases, cuyas concentraciones son reportadas en ppm. El método consiste en realizar mediciones al aire libre en cada una de los puntos a evaluar.

Figura 14 Analizador automático de CO



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para los cálculos, se requiere la conversión de la concentración en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con la siguiente expresión establecida en la sección 7.3.1.1. Manejo y presentación de las variables de calidad del aire del Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Resolución 2154 de 2010):

Ecuación 1 Cálculo de la concentración de CO

$$C_{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = \frac{C(\text{ppm}) * PM}{24.45} * 10^3$$

Dónde:

C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Concentración de CO en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C (ppm): Concentración de CO en ppm.

Estación Meteorológica

Para la obtención de la información meteorológica, durante la campaña de monitoreo se emplearon dos (2) estaciones meteorológicas: Vantage Vue marca Davis Instruments. Los equipos cuentan con sensores de dirección y velocidad del viento, registran datos de temperatura ambiente, presión barométrica, porcentaje de humedad relativa, precipitación, entre otras. Este tipo de equipos también presenta la predicción del estado del tiempo, es decir, si las próximas horas corresponderán a tiempos soleados, parcialmente cubiertos, cubiertos, con lluvias y/o con nieve (esta última, sólo es aplicable en aquellos lugares donde se presenta este fenómeno). En la Figura 15 puede observarse la consola y la estación meteorológica.

Figura 15 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La mayor aplicabilidad de este tipo de estaciones es su uso en el apoyo de las campañas de monitoreo de calidad del aire y análisis meteorológicos, ya que realizan la medición precisa de todas las variables mencionadas anteriormente y, además, almacena la información en un datalogger, el cual puede ser posteriormente conectado a un computador y realizar la respectiva descarga de información para poder ser empleada en la elaboración de los informes. Para la ejecución de la campaña de monitoreo, se empleó una resolución temporal de treinta (30) minutos.

- Normatividad vigente

En la Tabla 28 se presentan los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 mediante la cual se establece la norma de Calidad del aire o Nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

Tabla 22 Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

Parámetro	Unidad	Resolución 610 De 2010*
Partículas Suspendidas Totales (PST)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	300
Promedio Geométrico Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Material Particulado (PM₁₀)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Promedio Aritmético Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Dióxido de azufre (SO₂)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	250
Promedio Aritmético Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80
Dióxido de nitrógeno (NO₂)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150
Promedio Aritmético Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Monóxido de Carbono (CO)		
Promedio Horario	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	40.000
Media Móvil Octohoraria	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.000

Nota: * Condiciones de Referencia. (25°C y 760 mmHg).
 Fuente: Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010, Emitida por el MAVDT hoy MADS.



Ruido

Se realizó el monitoreo de los niveles de presión sonora (ruido ambiental) en las zonas que se identificaron como las más sensibles (áreas habitadas o con presencia de actividad industrial). Se realizaron mediciones durante 24 horas en día hábil y día no hábil, tales mediciones se realizarán orientando el micrófono del sonómetro en dirección norte, este, sur, oeste. Durante el monitoreo se tendrá en cuenta las especificaciones establecidas en la resolución 0627 de 2006 en su anexo 3 capítulo II.

Se realizó un análisis comparativo de los resultados del monitoreo en campo con la normatividad vigente, Resolución 627 de 2006 "Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental" Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la cual se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A).

Para la realización del inventario de fuentes se realizó un recorrido por el área de influencia del proyecto para realizar un inventario de las fuentes generadoras de ruido existentes. Para la determinación del ruido ambiental en la zona de influencia del proyecto, se tomarán registros de presión sonora, seleccionando aquellas zonas potencialmente sensibles de manera que se generará una grilla con suficientes puntos para la elaboración de las curvas isófonas. Los puntos de muestreo tienen en cuenta la localización de centros poblados en relación con los sectores de las obras asociadas al proyecto. Como receptores de ruido se identificaron en campo, los asentamientos poblacionales, viviendas e infraestructura social, que se encuentra dentro del área de influencia del componente Aire identificada para el proyecto.

El resultado de la medición de ruido ambiental es obtenido mediante la siguiente expresión (Res. 627 de 2006):

Ecuación 2

$$L_{Aeq} = 10 \times \text{Log} \left(\left(\frac{1}{5} \right) \times \left(10^{\frac{L_N}{10}} + 10^{\frac{L_O}{10}} + 10^{\frac{L_S}{10}} + 10^{\frac{L_E}{10}} + 10^{\frac{L_V}{10}} \right) \right)$$

Dónde:

L_{Aeq} = Nivel equivalente resultante de la medición.

L_N = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

L_O = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

L_S = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.

L_E = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.

L_V = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

En lo que respecta a los ajustes, las mediciones se corrigieron por tono (K_T) y por impulso (K_I). Se debe resaltar que los niveles corregidos de presión sonora, son los que se compararon con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental y emisión de ruido como se establece en el Artículo 6 “ajustes” parágrafo segundo de la Resolución 627 de 2006.

Se selecciona el mayor valor de K entre K_I, K_T, K_S, y K_R:

Ecuación 3

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S, K_R)$$

Dónde:

K_I es un ajuste por impulsos (dBA(A))

K_T es un ajuste por tono y contenido de información (dBA(A))

K_R es un ajuste por la hora del día (dBA(A))

K_S es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo bajas frecuencias (dBA(A)) (X) corresponde a L_{Aeq} resultante de la medición para este estudio

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dBA(A).

- Análisis Meteorológico

Para la caracterización de las variables meteorológicas del área de estudio se ubicó una estación meteorológica Vantage Vue; marca Davis Instruments en el Punto 1 EDS MELGAR con la finalidad de estudiar el comportamiento de las condiciones atmosféricas durante las mediciones realizadas.

- Normatividad Aplicable de Ruido Ambiental

La Resolución 627 de 2006 expedida por el actual MADS es la normativa vigente en Colombia mediante la cual se establecieron los estándares máximos permisibles de ruido ambiental (ruido total en la zona debido a las fuentes presentes) y emisión de ruido (ruido generado específicamente por una fuente objeto) diferenciados por uso de suelo y horario de medición. Estos horarios están establecidos de la siguiente manera en la normatividad (Tabla 23).

Tabla 23 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006

Tipo de Horario	Hora de Inicio	Hora Final
Diurno	7:01 a.m.	9:00 p.m.
Nocturno	9:01 p.m.	7:00 a.m.

Fuente: Res. 627 del 07 de Abril del 2006 del actual MADS

- Estándares Máximos Permisibles de Emisión De Ruido

En la Tabla 24 se presentan niveles máximos permisibles de Emisión de Ruido de acuerdo con lo establecido en la Resolución 627 de 2006 en el Artículo 9 del Capítulo II:

Tabla 24 Estándares Máximos Permisibles para Emisión de Ruido

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL dBA	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.	75	75
	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.		
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS

- “Parágrafo Primero: Cuando la emisión de ruido en un sector o subsector, trascienda a sectores o subsectores vecinos o inmersos en él, los estándares máximos permisibles de emisión de ruido son aquellos que corresponden al sector o subsector más restrictivo.
- Parágrafo Segundo: Las vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, en general las vías, son objeto de medición de ruido ambiental, más no de emisión de ruido por fuentes móviles.
- Parágrafo Tercero: Las vías troncales, vías arterias y vías principales, en áreas urbanas o cercanas a poblados o asentamientos humanos, no se consideran como subsectores inmersos en otras zonas o subsectores”.

- Estándares Máximos Permisibles de Ruido Ambiental

En la Tabla 25 se presentan los niveles máximos permisibles de Emisión de Ruido de acuerdo con lo establecido en la Resolución 627 de 2006 en el Artículo 9 del Capítulo II:

Tabla 25 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL, dBA	
		Día	Noche
Sector A. y Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS.

2.3.2.2 Medio biótico

A continuación se presentan los lineamientos metodológicos adoptados en el presente estudio para la caracterización del medio biótico, específicamente relacionado con los procedimientos previos, el cual se fundamenta en consultas bibliográficas con el fin de identificar los aspectos más importantes como referencia básica para la determinación de las condiciones generales del medio y de la vegetación para el desarrollo de la fase de campo y el posterior procesamiento de los datos.

Se revisaron las fuentes oficiales de información sobre la diversidad biológica en la zona del Proyecto y sobre áreas protegidas y ecosistemas estratégicos para el área; dentro de estas fuentes oficiales se tuvo en cuenta la

información existente en el Sistema de Información Ambiental para Colombia – SIAC, en Parques Nacionales, en las Corporaciones autónomas con autoridad en el área de estudio (CAR, CORTOLIMA) y en los EOT de los municipios con jurisdicción sobre el área (Melgar, Icononzo). Se revisaron estudios específicos de diversas fuentes sobre el territorio en análisis y los que estén disponibles sobre temas ambientales asociados a la vía. Se interpretaron las ortofotos disponibles para el área, entregadas por el Consorcio.

2.3.2.2.1 Ecosistemas terrestres

Metodología vegetación

- Zonas de vida o formaciones vegetales.

Este ítem se aborda basándose en el libro de Formaciones Vegetales de Holdridge adaptado para Colombia por Espinal y Montenegro (1963) desarrollado por el Departamento Agrológico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y adicionalmente teniendo como referencia la clasificación climática de Caldas y Lang, con el fin de generar la sectorización y descripción de las zonas de vida dentro de las que se encuentra del proyecto.

- Biomas

Se identificaron los biomas o ecosistemas de acuerdo con el mapa nacional de Ecosistemas Marinos y Terrestres para Colombia del IDEAM, IAP, SINCHI, IAvH e IGAC (2010), actualizando la información de coberturas de acuerdo con lo encontrado en el estudio, para lo cual se presentará una breve descripción y su respectiva localización.

- Identificación, sectorización y descripción de los diferentes tipos de cobertura de la tierra

La identificación y caracterización de las coberturas vegetales se realizó con base en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia por el IGAC en el 2010 y afiliada a la identificación de ecosistemas. Para la caracterización de las coberturas de la tierra, se realizó inicialmente una labor de oficina, en la cual se elaboró una actualización y ajuste del mapa temático preliminar de coberturas de la tierra y uso del suelo partiendo de las coberturas identificadas y clasificadas visualmente en la Ortofoto, con fecha de captura del 2017 entregada por el Consorcio. Esta imagen cuenta con una adecuada resolución espacial para dar la precisión y detalle requeridos para el estudio. Una vez obtenido el mapa de coberturas de la tierra, se determinó el método de muestreo florístico más apropiado para dar cumplimiento a los requerimientos puntuales en terreno para las diferentes coberturas a muestrear.

Durante los recorridos de campo se verificó y validó el mapa preliminar obtenido mediante la interpretación, para posteriormente hacer una reinterpretación o ajuste y elaboración del mapa definitivo.

- Fase de campo

Para el área de influencia del Proyecto, se ejecutó la verificación general de las coberturas vegetales identificadas a través de recorridos en campo. Se siguió la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra propuesta por el IDEAM (2010), la cual se basa en el sistema de clasificación de la nomenclatura *CORINE Land Cover* adaptada para Colombia Escala 1:100.000 y propuesto por el IDEAM, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional de Río Grande del Magdalena (CORMAGDALENA) durante los años 2004 y 2007 (IDEAM, 2010).

La caracterización florística se realizó mediante el establecimiento de parcelas en las cuales se levantó la información para los posteriores cálculos de los índices e indicadores de composición florística, volúmenes comerciales y total, diversidad y estructura, teniendo en cuenta las tres (3) categorías de tamaño de la vegetación (brinzales, latizales y fustales) y el hábito herbáceo. Además, es importante aclarar que el levantamiento de las parcelas, y por ende la caracterización florística, se centró en las coberturas naturales del área de intervención del Proyecto, al ser estas las que tienen mayor importancia ecológica, estructural y funcional.

Tamaño de las parcelas.

Se deben tener en cuenta algunas consideraciones prácticas para la delimitación de las parcelas con el fin de analizar las propiedades y características de las distintas categorías de plantas que constituyen las comunidades. Según Matteucci & Colma (1982), si los individuos a contar son pequeños y muy abundantes es preferible utilizar tamaños de unidades de muestreo pequeñas, si los individuos son grandes y muy espaciados, las unidades grandes resultan más apropiadas.

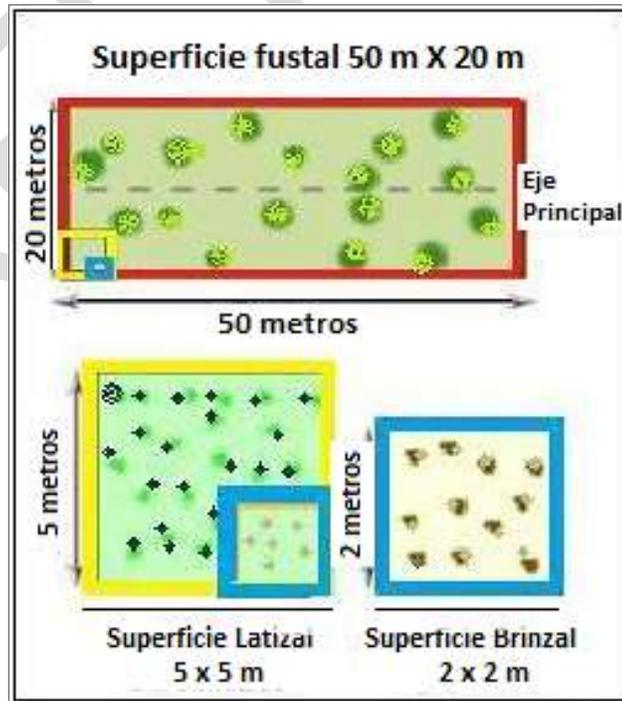
En los estudios además se seleccionan tamaños de parcelas mayores para los fustales, tamaños medianos para arbustos y latizales, y tamaños pequeños para la regeneración. La caracterización de las coberturas, se realizó mediante el establecimiento de unidades de muestreo– UTM o parcelas, teniendo en cuenta las tres (3) categorías de tamaño (fustal, latizal y brinzal) y el hábito herbáceo. Los parámetros de clasificación para cada una de estas categorías, se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26 Parámetros para las categorías fustal, latizal y brinzal.

CATEGORÍA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (m)
Fustal	≥10	-
Latizal	Entre 2,5 - 10	≥1,5
Brinzal	< 2,5	0,30 - <1,5

Las parcelas para los individuos clasificados como fustales se establecieron de forma rectangular pues las formas cuadradas no convienen en las coberturas boscosas tropicales debido a la mala visibilidad y la dificultad de definir sus perímetros. De acuerdo con Villareal, *et al* (2004) se debe plantear un área de 0,1 ha (1000 m²) para las plantas leñosas por medio de una parcela de 50m*20m (ver Figura 17) parámetro aplicado para el muestreo, sin embargo, y en caso de ser necesario para el muestreo de árboles en coberturas aledañas a la carretera, se levantarán transectos de 10m*100m, de modo que el número de árboles sea representativo (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Figura 17 Diseño de las parcelas para las coberturas naturales



De acuerdo con (Rangel-Ch & Velázquez) se puede establecer un muestreo utilizando unidades de 25 m² (5 x 5 m), en las cuales se registrará el material entre 2.5 y <10 cm de diámetro, esta categoría equivale a los latizales. De igual forma para categorías los individuos con diámetros inferiores a 2.5 cm que equivaldrían a los brinzales, las parcelas utilizadas serán de menor tamaño, se establece un muestreo de 4 m² (2 x 2 m); por ultimo para el registro de individuos de porte herbáceo se muestreara dentro de la parcela un área de 10 m * 1 m, caracterizando así todos los estadios de crecimiento y hábitos de la cobertura en las proporciones especificadas. Es decir a medida que el tamaño de los individuos es menor, el tamaño de la unidad de muestra necesario también lo será, además en los individuos con DAP menor a 10 cm, se registrará las alturas correspondientes a cada individuo, densidad o número de individuos dentro de la parcela, nombre común, así como las características diagnósticas vegetativas y reproductivas (presencia de látex, exudados, tipo de flor, entre otras) y uso dado por las comunidades locales.

La información de los inventarios se registrará directamente en una Tablet Samsung Galaxy A6, por lo que los formatos de campo se compilarán únicamente de forma digital en la base de datos *Memento database* y serán descargados en el formato de Excel que se muestra en la Figura 18., donde se registran además algunas generalidades del área como la ubicación municipal y veredal, la unidad de cobertura o ecosistema, así como las coordenadas de inicio y final de las parcelas.

PRELIMINAR

Figura 18 Ejemplo de formato de campo para caracterización florística

 Agencia Nacional de Infraestructura		 CONSORCIO VIAL		FORMULARIO DE CAMPO CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA						 INGENIERÍA & DISEÑO			
Nombre del proyecto: Tercer carril Bogotá-Girardot EIA										Fecha:			
Municipio: Girardot		Vereda: ---		U. F:		Parcela No.:		UCV:		UCV: Bosque ripario		Pág. _ de _	
Área fustal:	50 * 20 m	Área latizal:	10 * 10 m	Coordenada Inicial X:	Y:	Altura (msnm):	Fotos:		UCV: Vegetación secundaria				
Área brinzal:	2 * 2 m	Área herbáceas:	1 * 10 m	Coordenada Final X:	Y:	Altura (msnm):	Otro:		UCV: Pastos enamezados				
Sub Parcela	Estado	Número	Nombre Común	Especie	CAP1 (cm)	CAP2 (cm)	CAP3 (cm)	CAP Total (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	No. Individuos	Way Point	Observaciones

PRELIMINAR

Medición de variables en campo.

El trabajo de campo se realizó con el acompañamiento de un asistente de campo de la zona estudiada para la determinación de los nombres comunes y usos dados por las comunidades vecinas, brindando apoyo en el trazado de las parcelas y medición de datos de circunferencia a la altura del pecho (CAP) y altura. En cada una de las parcelas levantadas en campo se tomaron registros fotográficos de las especies de flora más representativas. Adicionalmente, se georreferenció la localización de cada una de las parcelas usando un GPS Garmin Map 60C.

- Fase de oficina

Siguiendo lo establecido por los Términos de Referencia para vías y/o túneles el muestreo realizado para la caracterización florística debe cumplir con un error de muestreo menor al 15% y una probabilidad del 95%, garantizando así su representatividad. Para esto se realizó el siguiente procedimiento.

Error de Muestreo

Se estimará el error de muestreo para la variable de volumen en cada uno de los tipos de coberturas (estratos establecidos) teniendo como unidad de muestreo la parcela muestreada. Los estadígrafos a calcular para la población total corresponden a la media estratificada de la población y al error estándar de la media estratificada, los cuales se describen en la Tabla 27.

Tabla 27 Estadígrafos para el cálculo de error de muestreo.

• Estadígrafo	• Formula	•
Media Aritmética (x) Medida de tendencia central (Canavos, 1999)	$X = \frac{\sum X_i}{n}$	X_i = valor observado de unidad i-estima de la muestra n = número de unidades de la muestra(tamaño de muestra)
Desviación estándar (S) Caracteriza dispersión de los individuos con respecto a la media (Canavos, 1999)	$S = \sqrt{\frac{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$	$n-1$ = Grados de libertad
Coefficiente de variación (CV) Medida de la desviación estándar (Canavos, 1999)	$CV = \frac{S}{X} * 100$	S= Desviación estándar X= Media
Error estándar (Sx) mide el desvío de las medias muestrales respecto a la media poblacional (Canavos, 1999)	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} * \sqrt{1-f}$	S= Desviación estándar n= Tamaño de la muestra (expresada en parcelas) f= Fracción de Muestreo que es la relación (n/N) entre el tamaño de la muestra ny el tamaño total del área N
Error de muestreo (Em%)	$Em(\%) = \frac{E}{X}$	E = Error de muestreo absoluto X = Media aritmética
Límites de confianza Límites de la media poblacional	$\bar{X} - t(S_x) \leq \mu \leq \bar{X} + t(S_x)$	μ = Media poblacional X= Media muestral T(Sx)= Error muestreo absoluto

Análisis estructural

Los análisis estructurales de la vegetación del área de intervención del Proyecto están basados en los datos obtenidos en la fase de campo y en la posterior determinación del material vegetal. De esta manera, se obtuvieron los parámetros de frecuencia, abundancia y dominancia con el fin de analizar la estructura espacial en cuanto a sus atributos fisonómicos y si índice de valor de importancia -IVI-. Además de acuerdo al listado definitivo de especies, se realizó el análisis de la composición y riqueza florística por familia, género y especie para cada una de las coberturas naturales y el análisis estructural en cinco (5) aspectos: estructura horizontal, estructura vertical, estructura diamétrica y evaluación de diversidad; los parámetros determinados se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28 Parámetros a evaluar a partir de la información recolectada en campo

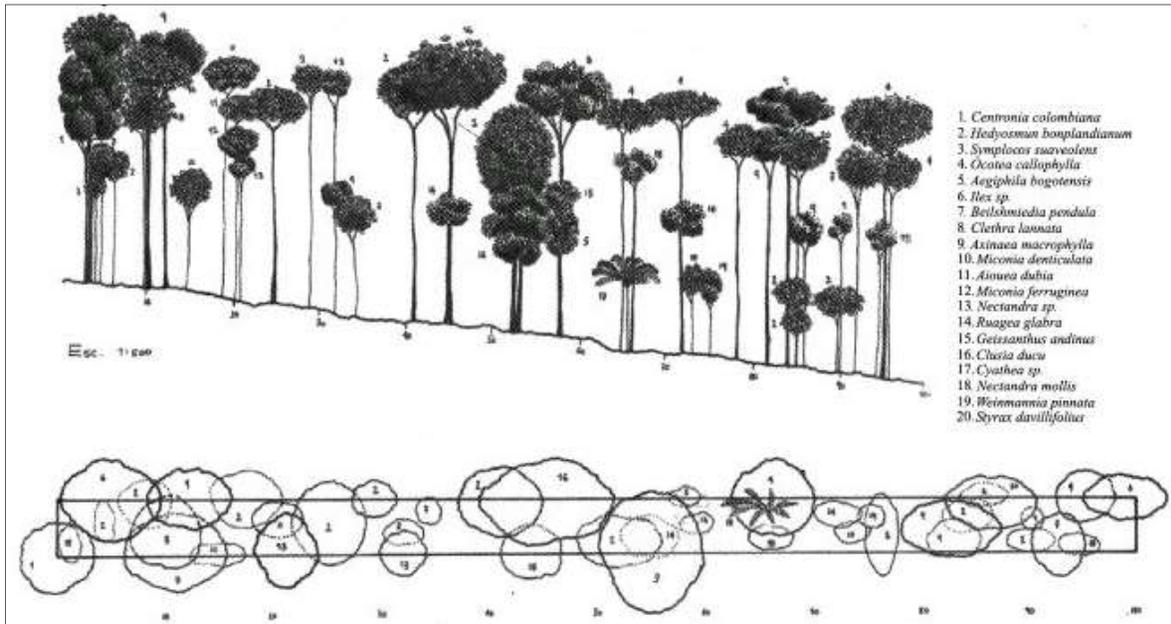
Análisis estructural	Parámetros	Formula o explicación																				
Estructura horizontal	Abundancia absoluta y relativa	Aa = Número de individuos por especie																				
		Ar = $\frac{\text{Número de individuos por especie} \times 100}{\text{Número total de individuos en el área}}$																				
	Frecuencia absoluta y relativa	Fa = $\frac{\text{Número de unidades de muestreo en que ocurre una especie} \times 100}{\text{Número total de unidades de muestreo}}$																				
		Fr = $\frac{\text{Frecuencia absoluta de una especie} \times 100}{\text{Suma total de frecuencias absolutas}}$																				
	Dominancia absoluta y relativa	Do = Área basal por especie.																				
Dr = $\frac{\text{Área basal} \times 100}{\text{Área basal total}}$ Dónde: $\text{Area basal} = \frac{\pi}{4} * \text{DAP} (m)^2$																						
Índice de valor de importancia (IVI).	IVI = Ar% + Fr% + Dr% Dónde: Ar% = Abundancia relativa; Fr% = Frecuencia relativa; Dr% = Dominancia relativa.																					
Estructura vertical	Posición Sociológica (Ps)	Ps es una expresión de la expansión vertical de las especies. Es un índice que informa sobre la composición florística de los distintos sustratos de la vegetación y del papel que juegan las diferentes especies en cada uno de ellos (Hosokawa. 1986).																				
	Análisis de la regeneración natural (Rn)	<u>Índice de regeneración natural:</u> IRN = $\frac{\text{Ar\% Fr\% Ctr\%}}{3}$ Dónde: Ar% = Abundancia relativa; Fr% = Frecuencia relativa; Ctr% = Categoría de tamaño relativa.																				
		Categorías de tamaño para los índices de regeneración natural.																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Amplitud del intervalo Altura (m)</th> <th>Categoría de tamaño</th> <th>Nº Individuos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,1</td> <td>1</td> <td>I</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>II</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>9,9 cm DAP</td> <td>III</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: Finol 1971</p>	Amplitud del intervalo Altura (m)		Categoría de tamaño	Nº Individuos	0,1	1	I		1	3	II		3	9,9 cm DAP	III		TOTAL			
Amplitud del intervalo Altura (m)		Categoría de tamaño	Nº Individuos																			
0,1	1	I																				
1	3	II																				
3	9,9 cm DAP	III																				
TOTAL																						

Análisis estructural	Parámetros	Formula o explicación
		<p>Ct = Categoría de tamaño $\frac{Ct}{n} = \frac{n}{N}$ Dónde: n = número de individuos del sub-estrato N = Número total de individuos de todas las especies (latizales y brinzales)</p> <p>$Cta = (CtR1 * nR1) + (CtR2 * nR2) + (CtR3 * nR3) \dots$ Dónde: Cta = Categoría de tamaño absoluta, Ct = Valor Fitosociológico del sub-estrato, n = número de individuos del sub-estrato.</p> <p>La Categoría de tamaño relativa (Ctr) de cada especie, se expresa como porcentaje sobre la sumatoria total de los valores absolutos.</p> $Ctr = \frac{Cta}{\sum_{i=1}^0 Cta}$
Clases diamétricas y altimétricas	Distribución de individuos por clases diamétricas y altimétricas	Para determinar la distribución diamétrica y altimétricas se agruparán los árboles inventariados en categorías con intervalos de acuerdo con la fórmula de Sturges: $C = (X \max - X \min) m$ $m = 1 + 3,3 (\log n)$
		Dónde: m= Número de intervalos C= Amplitud del intervalo X= Parámetro a analizar
Índices	IVIA (Índice de importancia ampliado)	$IVIA = IVI + Rn + Ps$
	Índice de Margalef	Índice directo que relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos $Dmg = \frac{S - 1}{Ln N}$ <p>Donde S=número de especies N= número de individuos</p>
	Índice de diversidad Shannon-Wiener (H')	El índice de Shannon es una aplicación de la teoría de la información, basado en la idea de que una mayor diversidad corresponde a una mayor incertidumbre en la recolección al azar de un individuo de una especie particular (Gliessman 2007). Asume que todas las especies están representadas en todos los muestreos, $H = - \sum_{i=1}^s p_i (\ln p_i)$ <p>Donde Pi corresponde a la proporción o probabilidad de las especies i respecto al total de individuos ni/N.</p> <p>Tiene en cuenta la abundancia de cada especie y si se encuentra o no distribuida uniformemente (en términos de</p>

Análisis estructural	Parámetros	Formula o explicación
		abundancia), teniendo en cuenta todas las especies muestreadas.
	Índice de diversidad Simpson (S)	<p>Índice de abundancia proporcional el cual tiene en cuenta las especies que están mejor representadas o dominan. El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos organismos tomados al azar dentro de un hábitat sean de la misma especie; en un ecosistema natural relativamente diverso, este índice alcanza valores de 1.</p> $D = 1 - P_i^2$ <p>Para el índice de Simpson, el valor mínimo es 0 y para el índice de Shannon es 1. Ambos valores mínimos indican ausencia de diversidad. En teoría el valor máximo para cada índice es limitado solo por el número de especies y como están estas distribuidas uniformemente en el ecosistema (Gliessman 2007).</p>

- Para cada unidad de cobertura de la tierra identificada, se elaboró un perfil de vegetación; según (Rangel-Ch & Velázquez) los perfiles de vegetación permiten entender la estructura de la vegetación a partir de un dibujo real de la estructura vertical y horizontal de una proporción representativa de la vegetación (parcela). Para realizar el perfil de vegetación se debe tener en cuenta la distribución horizontal de los individuos en la parcela a partir de las coordenadas tomadas para cada uno para al menos una parcela por cobertura vegetal, posterior a esto se graficara dicha ubicación (individuos en el eje x) contra la altura total medida para cada individuo (altura total en el eje Y), posteriormente con base en bocetos de la forma de las copas identificadas en campo, se reemplazaron las barras de los individuos de la gráfica por dibujos de árboles teniendo en cuenta el hábito al cual pertenece (palma, liana, árbol o arbusto, etc.). Con esta información se obtuvo el perfil vertical de la parcela.
- Adicionalmente se elaboró paralelo a este grafico el perfil horizontal de la parcela teniendo en cuenta la misma ubicación de los individuos, graficando allí las copas de cada uno en vista de planta a partir de la información de diámetros de copas medidos en campo y demás observaciones realizadas para la elaboración del perfil (véase Figura 19).

Figura 19 Ejemplo de perfil de vegetación a realizar por cobertura vegetal identificada. FUENTE: (Cantillo, Avella, & Rodríguez, 2005)



- Identificación de especies vedadas, endémicas o peligro crítico.

Para la identificación de especies amenazadas, vedadas o con algún grado de endemismo, se verificará el área de influencia del proyecto, con un listado preliminar de posibles especies con estas características presentes en el área de estudio generada a partir de los listados contenidos en los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES Abril de 2017), la Resolución 0192 de Febrero 10 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las Listas rojas de la UICN y la colección de Libros rojos de plantas fanerógamas de Colombia del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Se revisarán las Resoluciones, Acuerdos y conceptos emitidos en relación con veda de especies por cada una de las entidades territoriales competentes para la zona de influencia del proyecto (INDERENA: Resolución 0316 de 1974, Resolución 0213 de 1977, Resolución 0801 de 1977, Resolución 1408 de 1975. CAR: Acuerdo 022 de Octubre 22 de 1993. CORTOLIMA: Acuerdo 10 de Marzo 11 de 1983 y Acuerdo 003 de Enero 25 de 1994).

En campo se recopilará la información de las especies en veda a través de exploración visual de la vegetación aledaña al proyecto, haciendo énfasis en los hábitats potenciales, especialmente aquellos identificados como eventualmente ricos en especies de acuerdo a la información recopilada durante fase previa. Esto incluye superficies rocosas para el caso de líquenes litófitos, especies forestales que provean las condiciones necesarias para el crecimiento de epífitas vasculares y no vasculares o cursos de agua y zonas húmedas en caso de estar presentes (Musgos y Hepáticas). Los individuos serán identificados en campo con ayuda de guías especializadas, por lo que en lo posible no se realizará recolección o preservación de muestras. De la misma forma que en los inventarios florísticos, la información será registrada en los formatos de campo digitales dispuestos para este propósito (Figura 20)

Figura 20 Formulario de campo especies en veda.

 		FORMULARIO DE CAMPO ESPECIES EN VEDA								
Nombre del proyecto:							Fecha:			
Municipio:				Vereda:			Unidad funcional:			
Coordenada recorrido visual				Inicial	E	N		Altitud:		msnm
				Final	E	N		Altitud:		msnm
COD_zona	WP	Especie	Hábito	Forófito	DAP(cm)	Altura(m)	%cob	Estrato	Estadio	Foto
Vda_1										
Vda_1										
Vda_1										
Vda_1										

Fuente: INGETEC.

Usos dados por la comunidad a las especies de flora

La información sobre usos será obtenida a través de entrevistas al personal en campo y habitantes de las zonas aledañas a las parcelas de caracterización, esto con el fin de obtener detalle de los usos dados a las especies de plantas por parte de las comunidades locales, esta información será registrada en los formatos de campo anteriormente expuestos y contrastada con la bibliografía pertinente que se obtenga para la flora reportada en la zona, dando énfasis a los siguientes usos:

- Animales familiarizados: Melíferas, alimento de fauna, anidación, etc.
- Aseo: Fabricación de elementos como escobas, jabón, detergente.
- Mágico-religioso: asociado a ritos, ceremonias.
- Consumo cultural: Frutos u otros órganos de la planta comestibles. Ejemplo: *Mangifera indica*, (son árboles aislados, no son cultivos ni plantaciones).
- Cultura material: Fabricación de herramientas, utensilios, artesanal, tintes.
- Uso cultural: Fabricación de postes, sombrío, medicinal, carbón, leña, cercas, protección de cuencas, recuperación de suelos.
- Habitación: Construcción de viviendas, techos, etc.
- Actividades productivas: Sistemas agroforestales o silvopastoriles, forraje para el ganado.

Metodología fauna

- Herpetofauna (Anfibios y Reptiles)

Recopilación de información secundaria

Con el objetivo de elaborar la lista general de la herpetofauna con distribución potencial en el Área de Influencia del Proyecto se realizó la recopilación de información secundaria contenida en artículos científicos e informes técnicos que corresponde a un rango altitudinal entre 250 a 900 m.s.n.m. Se complementando el listado de registro con entrevistas a la comunidad rural. Se revisó los documentos técnicos como el Planes de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Melgar, Planes de Manejo Ambiental (PMA), Estudios de Impacto Ambiental realizados en la zona de influencia, las colecciones en línea del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (2017) y la Colección del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2017).

Recopilación y análisis de información primaria

Los listados elaborados siguen la propuesta taxonómica de Frost (2017) para anfibios y el de Uetz (2017) para reptiles. El listado de especies presentes en el AI se comparó con los listados de especies amenazadas a nivel mundial (IUCN 2017, CITES 2017), el libro rojo de Anfibios de Colombia (Rueda et al. 2004), el listado de anfibios de Colombia de la base de datos en línea de Batrachia.com (Acosta 2017), el Libro Rojo de Reptiles de Colombia (Morales et al. 2015), Reptile Database (Uetz 2017) y la resolución 383 de 2010 de MinAmbiente (MADS 2017). Así mismo para establecer las especies endémicas se compararon con las bases de datos de AmphibiaWeb (2017), IUCN Redlist (2017) y la base de datos de especies de anfibios y reptiles del mundo del Museo Americano de Historia Natural (Frost 2017).

Para determinar la diversidad y composición de la herpetofauna se realizó la obtención de información primaria con una visita de campo entre el 29 de junio y 11 de julio del 2017. Esta información se recopiló con el método de muestreo de Búsqueda libre y sin restricciones según el método de Angulo *et al.* (2006). Este método es el más eficiente tanto para anfibios como para reptiles y se obtiene el mayor número de especies en el menor tiempo (Rueda *et al.* 2006).

En el área de estudio se identifican dos formaciones vegetales según Holdridge (1967) que son Bosque seco tropical con un ámbito altitudinal que abarca desde los 250 hasta los 600 m.s.n.m. y Bosque húmedo tropical

que va desde los 500 hasta los 900 m.s.n.m. con una precipitación promedio anual de 900 a 1500 mm y una temperatura media anual de 24°C a 28°C (Cuatrecasas 1958). Actualmente, la vegetación natural del área ha sido parcial o completamente sustituida por pastizales, monocultivos y ganadería. En algunas áreas se conservan todavía relictos de bosques primarios y secundarios, como también pequeños bosques de galerías (CORTOLIMA 2004).

Se muestreó en cuatro localidades del municipio de Melgar: Vereda Boquerón (473-608 m.s.n.m.), Vereda Mosquera (438-677 m.s.n.m.), Vereda Pedregal (397 415 m.s.n.m.) y Vereda La Esperanza (270-300 m.s.n.m.).

En cada elemento del paisaje: Bosque denso (Bd), Mosaico de cultivos y entornos naturales (M), Vegetación secundaria (Vs), Pastos arbolados (Pa) y Bosque de galería (Bg) se realizaron recorridos de observación en 3 jornadas con un total de 11 días efectivos de muestreo, excepto el día 1 y día 11 (29 de junio y 11 de julio) donde se realizó una sola jornada (diurna). Los recorridos diurnos corresponden a dos jornadas: entre las 09:00 h hasta las 12:00 h y las 14:00 hasta las 17:00 y un recorrido nocturno que corresponde desde las 18:00 hasta 21:00 h; registrando individuos durante el transcurso de las caminatas. Las observaciones de búsqueda fueron realizadas por un herpetólogo y un asistente de campo.

Se capturaron tres individuos por especie (estado larval, metamorfos, juveniles y adultos) a los cuales se les realizó fotografías diagnósticas, para su liberación inmediata. Para la Identificación taxonómica de los ejemplares se basó en material bibliográfico en línea como las colecciones de la Universidad Nacional de Colombia y la Colección del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2017). El sistema de clasificación que se siguió fue el de Frost (2017) para anfibios y el de Uetz (2017) para reptiles.

Se realizó una revisión del estado de conservación de las especies registradas en el área de influencia, comparando con los listados de especies amenazadas a nivel mundial (IUCN 2017, CITES 2017), los libros rojos de Colombia (Morales *et al.* 2015, Rueda-Almonacid *et al.* 2004) y la Resolución 383 del 2010 de MinAmbiente (MAVDT 2010). Para determinar el estatus de endemismo se consultaron las bases de datos en línea AmphibiaWeb (2017), Reptile Database (Uetz 2017), IUCN Redlist (2017) y la base de datos de especies de anfibios del mundo del Museo Americano de Historia Natural (Frost 2017).

Se evaluó la abundancia y riqueza de anfibios y reptiles con relación a las coberturas disponibles en el área de influencia del proyecto. La composición fue medida mediante los porcentajes de riqueza y abundancia por especie.

- Aves

Recopilación de información secundaria

Para determinar las especies probables de aves en el área de estudio se recopiló información disponible mediante la consulta de diferentes bases de datos como la Colección Zoológica del Instituto de Ciencias Naturales (disponible en <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>), listas de chequeo de Avibase y mapas de distribución actual disponibles para las especies de aves en la base de datos Nature Serve (<http://www.natureserve.org/infonatura/>). Las cuales permitieron elaborar un listado preliminar que fue revisado mediante el uso de guías especializadas.

Recopilación y análisis de información primaria

La observación y conteo de aves es uno de los métodos más aplicados para conocer la composición de las comunidades presentes en una determinada localidad. Este método es efectivo pues permite obtener listas de especies lo más completas y representativas posibles, es altamente eficiente ya que maximiza la información obtenida por unidad de tiempo y esfuerzo y además permite obtener datos sobre el comportamiento, ecología e historia natural de las especies (Villarreal *et al.* 2006).

Para el área, se evaluó la composición y riqueza de especies de aves mediante transectos de observación directa de longitud variable y se complementó mediante el uso de redes de niebla, entre el 29 de junio y el 11 de julio de 2017, priorizando los transectos de observación.

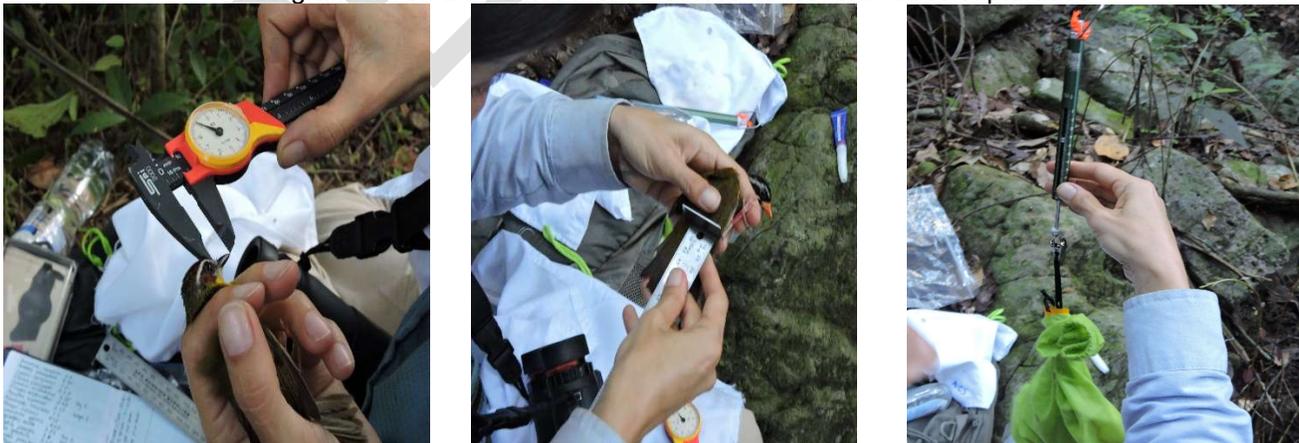
En cada transecto se llevaron a cabo observaciones y grabaciones de cantos, se anotaron las condiciones climáticas, las especies registradas, el número de individuos por especie, el tipo de registro (visual o auditivo), el estrato donde se registraron así como, observaciones de tipo social y comportamental (Fotografía 5). El muestreo se efectuó entre las 5:30 am y las 11:00 am y entre las 2:30 y 6:00 pm, horas de mayor actividad de las aves. Adicionalmente para la detección de especies crípticas y la toma de datos morfométricos (Fotografía 6) se utilizaron ocho (8) redes de niebla (15m x 2m y 9 x2m), estas se abrieron desde las 05:30h a 10:30h, hora en la cual la actividad de las aves disminuye; luego se volvían abrir desde las 15:00h hasta las 18:00h (Fotografía 5). La revisión de las redes se hizo entre 20 a 30 minutos, dependiendo de los factores climáticos, así como del número de redes e individuos capturados.

Fotografía 5 Realización de transectos de observación de aves y captura con redes de niebla



Fuente: INGETEC, Presente estudio.

Fotografía 6 Toma de datos morfométricos de los individuos capturados



Fuente: INGETEC, Presente estudio.

Las observaciones se realizaron para cada cobertura, las coordenadas de los transectos se encuentran en la Tabla 29:

Tabla 29 Coordenadas de los transectos realizados para la caracterización del área para la Unidad Funcional 2 del proyecto de ampliación del tercer carril de la vía Bogotá-Girardot.

Nombre	Track				Código Cobertura	Cobertura	Técnica de muestreo
	Inicial W	Inicial N	Final W	Final N			
López	74°33'123"	4° 15'646"	74°33'623"	4° 15'709"	3.2.3	Vegetación secundaria	Recorrido de búsqueda libre
Ventana	74°34'768"	4° 15'803"	74°34'800"	4° 15'803"	3.2.3	Vegetación secundaria	Recorrido de búsqueda libre
López	74°33'259"	4° 15'473"	74°33'363"	4° 15'786"	3.1.2 y 3.1.3	Bosque abierto y fragmentado	Recorrido de búsqueda libre
López	74°33'055"	4° 15'603"	74°33'129"	4° 15'667"	3.1.2 y 3.1.3	Bosque abierto y fragmentado	Recorrido de búsqueda libre
López	74°33'108"	4° 15'640"	74°33'108"	4° 15'640"	3.1.2 y 3.1.3	Bosque abierto y fragmentado	Redes de niebla
La Esperanza	74°34'050"	4° 15'447"	74°33'973"	4° 15'714"	3.1.1	Bosque denso	Recorrido de búsqueda libre
Ventana	74°34'626"	4° 15'950"	74°34'737"	4° 15'771"	3.1.1	Bosque denso	Recorrido de búsqueda libre
Ventana	74°34'617"	4° 15'184"	74°34'617"	4° 15'184"	3.1.1	Bosque denso	Redes de niebla
La selva	74°33'830"	4° 15'948"	74°33'716"	4° 15'886"	3.1.1	Bosque denso Robledal	Recorrido de búsqueda libre
Río Sumapaz	74°33'710"	4° 16'231"	74°33'582"	4° 16'296"	3.1.4	Bosque denso Borde río Sumapaz	Recorrido de búsqueda libre
La selva	74°33'828"	4° 15'802"	74°33'903"	4° 15'856"	2.3.2	Pastos arbolados	Recorrido de búsqueda libre
Vía Icononzo	74°33'968"	4° 15'727"	74°33'854"	4° 15'937"	2.3.2	Pastos arbolados	Recorrido de búsqueda libre
Vía Icononzo	74°33'970"	4° 15'738"	74°33'970"	4° 15'738"	2.3.2	Pastos arbolados	Redes de niebla
Vía Icononzo	74°33'980"	4° 16'016"	74°34'068"	4° 16'193"	2.4.1	Mosaicos	Recorrido de búsqueda libre
Vía Icononzo	74°33'900"	4° 15'853"	74°34'068"	4° 16'193"	2.4.1	Mosaicos	Recorrido de búsqueda libre
ZODME	74°40'768"	4° 12'596"	74°40'817"	4° 12'248"	2.3.1	Pastizal abierto ZODME	Recorrido de búsqueda libre
ZODME	74°40'759"	4° 12'162"	74°40'738"	4° 12'237"	2.3.1	Pastizal abierto ZODME	Recorrido de búsqueda libre
ZODME	74°40'858"	4° 12'057"	74°40'879"	4° 12'311"	3.1.4	Bosque de galería ZODME	Recorrido de búsqueda libre
ZODME	74°41'247"	4° 12'108"	74°41'231"	4° 12'503"	3.1.4	Bosque de galería ZODME	Recorrido de búsqueda libre

Para la identificación de las especies se siguió la propuesta taxonómica de Remsen y colaboradores (2017) y se emplearon la guía de Aves de Colombia (Hilty & Brown 1986) y la Guía de Aves del Norte de Suramérica (Restall *et al.* 2006). Y para la identificación se empleó la base de datos xeno-canto América, disponible en www.xeno-canto.org/.

Se realizó además, la consulta de la Resolución 0192 de 2014 del Ministerio de Ambiente Desarrollo Sostenible, el libro rojo de las Aves de Colombia (Rengifo *et al.* 2002; 2016), listas de especies migratorias (Naranjo *et al.*, 2012) y los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies de Fauna y Flora Silvestres (CITES Colombia 2016), para determinar las especies amenazadas, endémicas, migratorias y aquellas de interés. Los rangos de distribución de las especies endémicas y casi endémicas se obtuvieron de Chaparro-Herrera *et al.* (2013).

Para el análisis, se estimó el número total de especies o riqueza específica como diversidad alfa. Evaluando, asimismo, la efectividad del muestreo mediante la elaboración de curvas de acumulación de especies para cada cobertura, a partir de estimadores de riqueza no paramétricos (Chao1 y ACE), para estos análisis se empleó el programa EstimateS Win versión 9.1.0 (Colwell 2016).

Asimismo, para determinar las especies probables de aves en el área de estudio, se recopiló información disponible mediante la consulta de diferentes bases de datos como la Colección Zoológica del Instituto de Ciencias Naturales (disponible en <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>), listas de chequeo de Avibase y mapas de distribución actual disponibles para las especies de aves en la base de datos Nature Serve (<http://www.natureserve.org/infonatura/>). Las cuales permitieron elaborar un listado preliminar que fue revisado mediante el uso de guías especializadas.

- Mamíferos

Recopilación de información secundaria

La revisión de la información secundaria se hizo a partir de: guías de campo, libros especializados, artículos científicos, artículos divulgativos, tesis de grado, publicaciones inéditas, bases de datos online, listados taxonómicos, y estudios ambientales, sobre la fauna silvestre de los Andes colombianos, con énfasis en las especies distribuidas en la cordillera oriental entre los 0 y 1000 m.s.n.m. en el Departamento del Tolima. Dentro del grupo de mamíferos se consultó las publicaciones de: Emmons (1997), Gardner (2007), Galindo-Espinosa *et al.* (2010), García-Herrera *et al.* (2015), Defler (2003, 2010), Mantilla-Meluk *et al.* (2009), Mantilla-Meluk *et al.* (2014), Solari *et al.* (2013), Suarez & Ramírez (2015), Thorington *et al.* (2012), Voss (1992, 2011), Wilson & Reeder (2005).

En cuanto a las especies amenazadas, se revisó en los Libros Rojos de Colombia (Mamíferos) Rodríguez-Mahecha *et al.* (2006), La Resolución 0192 del 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT 2017), y las especies catalogadas en el Apéndice I del CITES online (www.cites.org).

La información correspondiente a las especies amenazadas se consultó en los libros rojos de Rodríguez-Mahecha *et al.* (2006), La resolución 0192 (2014) del Ministerio de Ambiente hoy MinAmbiente, las cuales también fueron revisadas en la página de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) en la página Web (www.iucnredlist.org). Las especies catalogadas en CITES se consultaron en la correspondiente página Web (www.cites.org).

A partir de esta información se elaboraron listas comentadas de las especies de probable ocurrencia en el área de influencia indirecta, específicamente en los Municipios de Icononzo y Melgar por debajo de los 1000 m.s.n.m., del departamento del Tolima.

Recopilación y análisis de información primaria

Para el levantamiento de información primaria de la mastofauna presente en el Área de interés se empleó un conjunto de metodologías que incluyeron: Redes de niebla para captura de murciélagos, Trampas Sherman y

Tomahawk para la captura de mamíferos pequeños y medianos; y transectos de observación para mamíferos medianos y grandes. Adicionalmente se emplearon cámaras trampa para mamíferos medianos y grandes de hábitos nocturnos y discretos. Los sitios de muestreo y el número de redes, trampas, cámaras trampa, y recorridos se describen en la Tabla 30. La ubicación geográfica de cada una de las localidades donde se emplearon las metodologías fueron registradas mediante un GPS Garmin® para su posterior mapeo.

Tabla 30 Ubicación de metodologías empleadas para el registro de mamíferos por localidad en el Área de interés del Proyecto: Ampliación Tercer Carril - Doble Calzada Bogotá – Girardot.

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Trampas sherman	30/06/2017	TS1BSBD	4 15.726	74 33.368	625	B
		30/06/2017	TS2BSBD	4 15.722	74 33.374	624	B
		30/06/2017	TS3BSBD	4 15.723	74 33.369	623	B
		30/06/2017	TS4BSBD	4 15.721	74 33.371	624	B
		30/06/2017	TS5BSBD	4 15.720	74 33.370	623	B
		30/06/2017	TS6BSBD	4 15.706	74 33.380	638	B
		30/06/2017	TS7BSBD	4 15.707	74 33.379	636	B
		30/06/2017	TS7BSBD	4 15.710	74 33.383	637	B
		30/06/2017	TS8BSBD	4 15.704	74 33.379	639	B
		30/06/2017	TS9BSBD	4 15.708	74 33.378	637	B
		30/06/2017	TS10BSBD	4 15.708	74 33.377	637	B
		30/06/2017	TS11BSBD	4 15.720	74 33.357	625	B
		30/06/2017	TS12BSBD	4 15.719	74 33.358	625	B
		30/06/2017	TS13BSBD	4 15.716	74 33.359	628	B
		30/06/2017	TS14BSBD	4 15.717	74 33.362	627	B
		30/06/2017	TS15BSBD	4 15.724	74 33.363	626	B
		30/06/2017	TS16- 18BSBD	4 15.737	74 33.357	617	B
		30/06/2017	TS19- 20BSBD	4 15.735	74 33.351	616	B
		30/06/2017	TS21BSBD	4 15.738	74 33.338	614	B
		30/06/2017	TS22BSBD	4 15.739	74 33.340	615	B
30/06/2017	TS23BSBD	4 15.737	74 33.341	614	B		
30/06/2017	TS24BSBD	4 15.737	74 33.339	613	B		
30/06/2017	TS25BSBD	4 15.738	74 33.342	613	B		
30/06/2017	TT1QBSBD	4 15.738	74 33.359	616 m	B		
Finca La Regadera, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Trampas sherman	01/07/2017	TS26VS	4 15.896	74 33.262	568	Vs
		01/07/2017	TS27Vs	4 15.903	74 33.262	564	Vs
		01/07/2017	TS28-29VS	4 15.902	74 33.264	562	Vs
		01/07/2017	TS30-31VS	4 15.903	74 33.267	563	Vs
		01/07/2017	TS32-33VS	4 15.903	74 33.268	562	Vs
		01/07/2017	TS34-35VS	4 15.907	74 33.257	551	Vs
		01/07/2017	TS36-37VS	4 15.905	74 33.262	554	Vs
		01/07/2017	TS38VS	4 15.904	74 33.268	561	Vs

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
		01/07/2017	TS39VS2	4 15.911	74 33.261	550	Vs
		01/07/2017	TS40VS1	4 15.910	74 33.261	552	Vs
		01/07/2017	TS42-VS	4 15.906	74 33.264	556	Vs
		01/07/2017	TS43-44VS	4 15.913	74 33.261	546	Vs
		01/07/2017	TS45-46	4 15.915	74 33.261	546	Vs
		01/07/2017	TS47-50VS	4 15.919	74 33.259	543	Vs
		01/07/2017	TT2 Vs	4 15.900	74 33.261	558	Vs
Finca La Selva, Vda. Mosqueral, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Trampas Sherman	03/07/2017	TS51MPC	4 15.964	74 33.775	619	M
		03/07/2017	TS52M	4 15.960	74 33.778	621	M
		03/07/2017	TS53M	4 15.962	74 33.781	622	M
		03/07/2017	TS54M	4 15.957	74 33.785	626	M
		03/07/2017	TS55M	4 15.960	74 33.785	626	M
		03/07/2017	TS56M	4 15.962	74 33.788	626	M
		03/07/2017	TS58M	4 15.961	74 33.791	628	M
		03/07/2017	TS59M	4 15.959	74 33.796	631	M
		03/07/2017	TS60	4 15.960	74 33.800	633	M
		03/07/2017	TS61-3MP	4 15.932	74 33.777	630	M, P
		03/07/2017	TS64MP	4 15.928	74 33.776	635	M, P
		03/07/2017	TS65MP	4 15.938	74 33.781	624	M, P
		03/07/2017	TS66MP	4 15.938	74 33.781	623	M, P
		03/07/2017	TS67MP	4 15.937	74 33.780	628	M, P
		03/07/2017	TS68MP	4 15.935	74 33.781	628	M, P
		03/07/2017	TS69MP	4 15.933	74 33.788	631	M, P
		03/07/2017	TS70MP	4 15.928	74 33.794	631	M, P
		03/07/2017	TS71MB	4 15.883	74 33.775	640	B, M
		03/07/2017	TS72MB	4 15.887	74 33.775	639	B, M
		03/07/2017	TS73MB	4 15.892	74 33.774	638	B, M
		03/07/2017	TS74-5MB	4 15.895	74 33.769	639	B, M
		03/07/2017	TS76MB	4 15.897	74 33.768	636	B, M
		03/07/2017	TS77MB	4 15.894	74 33.766	637	B, M
		03/07/2017	TS78MB	4 15.901	74 33.765	635	B, M
		03/07/2017	TS79MB	4 15.908	74 33.766	634	B, M
		03/07/2017	TS80MB	4 15.908	74 33.765	634	B, M
		03/07/2017	TS81P	4 15.957	74 33.730	599	P
		03/07/2017	TS82P	4 15.954	74 33.726	602	P
03/07/2017	TS83P	4 15.952	74 33.726	603	P		
03/07/2017	TS84PA	4 15.950	74 33.731	604	P		
03/07/2017	TS85PA	4 15.947	74 33.743	606	P		

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
		03/07/2017	TS85PA1	4 15.943	74 33.744	609	P
		03/07/2017	TS86PA	4 15.945	74 33.748	608	P
		03/07/2017	TS88PA	4 15.942	74 33.752	611	P
		03/07/2017	TS89PA	4 15.936	74 33.756	617	P
		03/07/2017	TS90PA	4 15.929	74 33.757	619	P
		03/07/2017	TS91MB	4 15.901	74 33.753	631	B
		03/07/2017	TS92MB	4 15.899	74 33.755	629	B
		03/07/2017	TS93-5MB	4 15.889	74 33.761	627	B
		03/07/2017	TS96-7MB	4 15.895	74 33.753	631	B
		03/07/2017	TS98-100	4 15.893	74 33.751	631	B
		03/07/2017	TT3CUEVA	4 15.899	74 33.732	633	B
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Cámara trampa	30/06/2017	CT1BSBD	4 15.705	74 33.379	638	B
		30/06/2017	CT2BSBD	4 15.738	74 33.359	616 m	B
		30/06/2017	CT3BSBD	4 15.735	74 33.321	610	B
Finca La Selva, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Cámara Trampa	03/07/2017	CT4 MB	4 15.885	74 33.777	632	B
		03/07/2017	CT5 MB	4 15.903	74 33.746	635	B
		04/07/2017	CT6 MB	4 15.842	74 33.798	661	B
		04/07/2017	CT7 MB	4 15.865	74 33.778	649	B
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Redes de niebla	30/06/2017	RED1BSBD	4 15.649	74 33.340	590	B
		30/06/2017	RED2BSBD	4 15.679	74 33.295	586	B
		30/06/2017	RED3BSBD	4 15.690	74 33.300	587	B
		30/06/2017	RED4BSBD	4 15.714	74 33.327	602	B
		30/06/2017	RED5BSBD	4 15.712	74 33.325	601	B
		30/06/2017	RED6BSBD	4 15.715	74 33.319	599	B
Finca La Regadera, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Redes de niebla	01/07/2017	RED10-11VS	4 15.890	74 33.295	553	Vs
		01/07/2017	RED13-14VS	4 15.887	74 33.291	530	Vs
Finca La Selva, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Redes de niebla	02/07/2017	RED15BM	4 15.900	74 33.747	633	B, M
		02/07/2017	RED16BM	4 15.892	74 33.756	635	B, M
		02/07/2017	RED17BM	4 15.893	74 33.752	634	B, M
		02/07/2017	RED18BM	4 15.885	74 33.757	637	B, M
		04/07/2017	MRED19P	4 15.941	74 33.695	592	P
		04/07/2017	MRED20P	4 15.948	74 33.695	585	P
		04/07/2017	MRED21P	4 15.955	74 33.700	587	P
		04/07/2017	MRED22P	4 15.958	74 33.707	584	P
Finca La Ventana, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Redes de niebla	05/07/2017	MRED23BD	4 15.771	74 34.657	551	B
		05/07/2017	MRED24BD	4 15.773	74 34.648	550	B
		05/07/2017	MRED25BD	4 15.762	74 34.643	557	B
		05/07/2017	MRED26VS	4 15.780	74 34.642	555	Vs

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
Finca La Ventana, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Redes de niebla	06/07/2017	MRED27VS	4 15.867	74 34.584	524	Vs
		06/07/2017	MRED28VS	4 15.880	74 34.591	535	Vs
		06/07/2017	MRED29VS	4 15.887	74 34.592	532	Vs
		06/07/2017	MRED30VS	4 15.888	74 34.593	531	Vs
Qda. La Cascada, Vda. Pedregal, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Redes de niebla	07/07/2017	MRED31BR	4 15.918	74 34.724	446	B
		07/07/2017	MRED32LAG	4 15.911	74 34.737	449	B
		07/07/2017	MRED33BR	4 15.911	74 34.731	449	B
ZODME, Vda. La Esperanza, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Redes de niebla	10/07/2017	MRED40BR	4 12.313	74 40.852	307	B
		10/07/2017	MRED41R	4 12.324	74 40.993	288	B
		10/07/2017	MRED42BR	4 12.281	74 40.934	289	B
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.1	02/07/2017	MR1-1VIA (punto inicial)	4 15.608	74 33.026	394	Zu
		02/07/2017	MR1-2VS	4 15.611	74 33.116	456	Vs
		02/07/2017	MR1-3BSBD	4 15.718	74 33.267	550	B
		02/07/2017	MR1-4BSBD	4 15.746	74 33.275	567	B
		02/07/2017	MR1-5BSBD	4 15.738	74 33.356	605	B
		02/07/2017	MR1-6BSBD	4 15.730	74 33.371	624	B
		02/07/2017	MR1-7BDVS	4 15.803	74 33.386	625	B, Vs
Finca San Buenavista, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.1	02/07/2017	MR1-8BDVS	4 15.798	74 33.427	640	B, Vs
		02/07/2017	MR1-10	4 15.823	74 33.426	643	B, Vs
Finca La Regadera, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.1	02/07/2017	MR1-10VS	4 15.797	74 33.358	628	Vs
		02/07/2017	MR1-12VS	4 15.893	74 33.299	566	Vs
Finca La Selva, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.2	02/07/2017	MR1-13VS (punto final)	4 15.920	74 33.255	532	Vs
		04/07/2017	MR2-1B (punto inicial)	4 15.843	74 33.798	660	B
		04/07/2017	MR2-2B	4 15.851	74 33.793	650	B
		04/07/2017	MR2-3B	4 15.856	74 33.781	644	B
		04/07/2017	MR2-4B	4 15.887	74 33.783	640	B
		04/07/2017	MR2-6B	4 15.990	74 33.740	585	B
Finca San Pedro, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.3	04/07/2017	MR2-7B (punto final)	4 15.990	74 33.740	579	B
		05/07/2017	MR3-1 VS (punto inicial)	4 16.108	74 34.012	594	Vs
		05/07/2017	MR 3-2VS	4 16.067	74 34.024	608	Vs
		05/07/2017	MR3-3VS (punto final)	4 16.061	74 34.000	604	Vs

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
Finca La Ventana, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.4	05/07/2017	MR4-1VS (punto inicial)	4 15.986	74 34.566	488	Vs
		05/07/2017	MR4-2VS	4 15.933	74 34.610	508	Vs
		05/07/2017	MR4-3BD (punto final)	4 15.765	74 34.646	548	B
Finca La Selva, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.5	06/07/2017	MR5-1V2P1 (punto inicial)	4 16.099	74 34.012	586	V, P
		06/07/2017	MR5-2VP2	4 16.062	74 33.969	584	V, P
		06/07/2017	MR5-3B	4 15.869	74 33.817	663	B
		06/07/2017	MR5-4B	4 15.845	74 33.784	670	B
		06/07/2017	MR5-5B (punto final)	4 15.842	74 33.801	677	B
Finca La Ventana, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.6	06/07/2017	MR6-1 (punto inicial)	4 16.029	74 34.570	472	Vs
			MR6-2VS (punto final)	4 15.767	74 34.683	534	Vs
Finca San Pedro, Vda. Mosquera, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.7	07/07/2017	MR7-1BG (punto inicial)	4 16.307	74 33.858	460	B
		07/07/2017	MR7-2	4 16.313	74 33.860	438	B
		07/07/2017	MR7-3	4 16.288	74 33.819	464	B
		07/07/2017	MR7-4VS (punto final)	4 16.283	74 33.912	499	Vs
Qda. La Cascada, Vda. Pedregal, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.8	07/07/2017	MR8-1BR (punto inicial)	4 15.991	74 34.743	409	B
		07/07/2017	MR8-2BR	4 15.998	74 34.764	397	B
		07/07/2017	MR8-3BQ	4 15.954	74 34.733	408	B
		07/07/2017	MR8-4BQ (punto final)	4 15.948	74 34.708	415	B
Finca San José, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.9	09/07/2017	MR9-1 (punto inicial)	4 15.698	74 33.140	516	Vs
		09/07/2017	MR9-2VS	4 15.751	74 33.148	521	Vs
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.9	09/07/2017	MR9-3BSBD	4 15.717	74 33.265	572	B
Finca Buenavista, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima		09/07/2017	MR9-4VS	4 15.729	74 33.277	579	Vs
09/07/2017		MR9-5	4 15.730	74 33.248	568	M	
09/07/2017		MR9-6CU (punto final)	4 15.789	74 33.310	623	M	

Localidad (Finca, Vereda, Municipio, Departamento)	Metodología	Fecha	Punto GPS	Coordenadas			Coberturas
				N	W	Altitud (msnm)	
ZODME, Vda. La Esperanza, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.10	10/07/2017	MR10- 1ZODME (punto inicial)	4 12.315	74 40.849	270	ZODME
		10/07/2017	MR10-2B4	4 12.273	74 40.889	285	B
		10/07/2017	MR10-3R	4 12.286	74 41.001	284	B
		10/07/2017	MR10-5RVS	4 12.177	74 40.926	294	Vs
		10/07/2017	MR10-6	4 12.156	74 40.885	296	P
		10/07/2017	MR10-7 (punto final)	4 12.166	74 40.802	300	P
ZODME, Vda. La Esperanza, Mpio. Melgar, Dpto. Tolima	Recorrido de observación No.11	11/07/2017	MR11-1BR (punto inicial)	4 12.287	74 40.968	286	B
		11/07/2017	MR11-2BR	4 12.232	74 40.993	286	B
		11/07/2017	MR11-3BR	4 12.123	74 40.951	289	B
		11/07/2017	MR11-4BR (punto final)	4 12.355	74 40.868	284	B
Finca San Rafael, Vda. Boquerón, Mpio. Icononzo, Dpto. Tolima	Punto adicional 1	30/06/2017	MPA1BSBD	4 15.734	74 33.353	616	B

Fuente: INGETEC

Captura de pequeños y medianos mamíferos mediante Trampas Sherman y Tomahawk

Para la captura de pequeños mamíferos no voladores se eligieron tres sitios de muestreo (Fincas): San Rafael y La Regadera. En cada una ellas, se emplearon 25 Trampas Sherman medianas (24 x 8 x 9cm) y una trampa Tomahawk medianas (86 x 27 x 32cm) dispuestas en grupos. En la Finca La Selva, se instalaron 50 trampas Sherman medianas y una trampa Tomahawk (Tabla 2).

Para la instalación de las trampas se tuvo en cuenta senderos, madrigueras, comederos, entre otros (Fotografía 7). Las trampas fueron cebadas con una mezcla de mantequilla de maní, avena, concentrado para gatos y esencia de vainilla. Todos los días en horas de la mañana, las trampas fueron revisadas y el cebo fue reemplazado por uno nuevo.

Fotografía 7 Instalación de Trampas Sherman y Tomahawk



Fuente: INGETEC

Los ejemplares capturados fueron dispuestos en bolsas de tela, para luego tomar las medidas corporales estándar: Longitud cabeza-cuerpo, cola, oreja y pie. De la misma manera se tomaron anotaciones sobre la coloración general del pelaje y características particulares de los miembros superiores e inferiores. Todas estas características permiten hacer una identificación aproximada de las especies, consultándolas en la bibliografía especializada (Emmons 1997, Voss R. 1992, Linares 1998, Tirira 1999 y Cuartas-Calle & Muñoz-Arango 2003).

Redes de niebla para Captura de murciélagos

Para el muestreo de murciélagos se eligieron ocho sitios de muestreo donde se emplearon de tres a seis redes de niebla (12m de largo x 2,5m de alto), distribuidas entre las Fincas: San Rafael, La Regadera, La Selva, La Ventana, Quebrada La Cascada, y el ZODME en La Esperanza, en las cuales invirtieron ocho noches de muestreo (Tabla 2).

Las redes de niebla fueron dispuestas a nivel del suelo en la mayoría de coberturas posibles (Fotografía 8). Estas estuvieron activas desde las 18:00 hasta las 21:00 horas, cubriendo el primer pico de actividad de los murciélagos. Una vez abiertas las redes, se revisaron en intervalos de 15 o 30 minutos para capturar los murciélagos que quedaban atrapados.

Fotografía 8 Instalación de redes de niebla para captura de murciélagos.



Fuente: INGETEC

Una vez capturados, los murciélagos se dispusieron en bolsas de tela para su manipulación. A cada murciélago se le tomaron medidas corporales convencionales (longitud cabeza-cuerpo, cola, antebrazo, oreja, pie y tibia) (Fotografía 9). También, fue determinada su condición reproductiva (activo/inactivo), edad relativa (adulto, subadulto, juvenil, cría) y el sexo (macho/hembra). Posteriormente se tomó el registro fotográfico de cada especie. Finalmente, todos los animales fueron liberados en los mismos sitios de captura.

Fotografía 9 Toma de medidas de quirópteros capturados mediante las redes de niebla



Fuente: INGETEC

La determinación de los ejemplares capturados se hizo en campo hasta nivel de especie según bibliografía especializada (Emmons & Feer 1997, Linares 1998, Tirira 1999 y Gardner 2007).

Adicionalmente, se eligieron dos sitios para la instalación de las cámaras trampa (Wildview infrared xtreme), que corresponden a las Fincas San Rafael (tres cámaras trampa) y La Selva (cuatro cámaras trampa). (Tabla 2).

Las cámaras estuvieron activas de tres días por sitio de muestreo. Para su ubicación, se tuvo en cuenta indicios de la presencia de mamíferos medianos y grandes como: caminaderos o sendas, comederos, bebederos, sitios de cría, etc (Fotografía 10). Estas, se programaron para disparar tres fotografías por minuto al paso del animal con una resolución alta. Cada día en la mañana las cámaras fueron revisadas para ver su funcionalidad y el número de fotografías tomadas y especies registradas.

Fotografía 10 Instalación de Cámara Trampa para la detección de mamíferos medianos y grandes.



Fuente: INGETEC

También, se hicieron recorridos de observación a lo largo de transectos en todos los sitios muestreados, los cuales se distribuyeron en las Fincas: San José, San Rafael, Buenavista, La Regadera, La Selva, San Pedro, Quebrada la Cascada y el ZODME, para un total de 11 recorridos de observación en ocho días invertidos en esta metodología. Estos recorridos se hicieron con el fin de registrar sea por observación directa los animales que pudieran encontrarse y/o al mismo tiempo cualquier evidencia indirecta de la presencia de las especies como huellas, heces, restos óseos, sitios de alimentación, madrigueras, rasguños, etc. (Fotografía 11). La identificación de los diferentes rastros o evidencias indirectas se realizó con el apoyo de bibliografía especializada y el conocimiento de los auxiliares de campo.

Fotografía 11 Registro de huella de mamíferos medianos en el Área de interés



Fuente: INGETEC

Finalmente, se realizaron entrevistas informales no sistemáticas a las comunidades en tres de los sitios de muestreo del área de influencia del proyecto con el fin de recolectar información popular, estos sitios incluyeron las Fincas: San Rafael y Buenavista, San Pedro y el ZODME. Las encuestas se hicieron mediante láminas a color de guías especializadas de campo, con el fin de determinar las especies presentes en la zona, su relación con los pobladores locales o uso, sitios y épocas de observación (Fotografía 12).

Fotografía 12 Entrevistas informales a los pobladores locales para registrar presencia de la mastofauna presente en el área de interés.



Fuente: INGETEC Presente estudio

Análisis de la información

Nomenclatura taxonómica

La corroboración y actualización de nombres taxonómicos para la mastofauna se siguió la nomenclatura taxonómica a nivel de órdenes, Familias, Géneros y Especies propuesta por Solari *et al.* (2013) y Wilson & Reeder (2005). En el caso de grupos específicos de mamíferos se actualizó de acuerdo a publicaciones más recientes (Mantilla-Meluk *et al.* 2009, Mantilla-Meluk *et al.* 2014, Voss 2011, Weksler *et al.* 2006).

Esfuerzo y éxito de muestreo

La intensidad y eficiencia de los muestreos efectuados con las diferentes técnicas de campo pueden ser evaluadas a partir del esfuerzo y éxito respectivamente, considerándose a éste último como un índice de abundancia relativa:

- Para los recorridos de observación a lo largo de transectos, el esfuerzo de muestreo (E) se calculó multiplicando el tiempo de duración del recorrido, por el número de personas que lo efectuaron. Así, el resultado se expresa en horas-hombre:

$$E = \text{tiempo (horas)} \times \text{número de personas}$$

El éxito de muestreo (E_m) corresponde al número de avistamientos o registros obtenidos / esfuerzo (E).

- Para el trabajo con redes de niebla, sea con aves o murciélagos, se siguió lo establecido por el Instituto Humboldt (Villarreal *et al.* 2004): el esfuerzo de muestreo se mide en horas-red, donde 1 hora-red equivale a una red de 12 x 2 metros abierta durante una hora. Para calcular el esfuerzo de muestreo se contabilizó el número total de metros de redes y el número total de horas durante las cuales permanecieron abiertas; este último se calcula teniendo en cuenta la hora de apertura de las redes (hora en la cual se abre la última red) y la hora de cierre de las mismas (momento en que se cierra la primera red).

$$E = (\sum \text{metros redes}/12\text{m}) \times \text{total horas}$$

El éxito de captura (E_c) corresponde al número de animales capturados / esfuerzo (E).

- Para los muestreos con trampas Sherman® y Havahart® el esfuerzo (E) se calculó multiplicando el número de trampas activas por el número de noches que permanecieron puestas. El resultado se expresa en unidades de trampas-noche:

$$E = \text{trampas activas} \times \text{número de noches}$$

El éxito de captura (E_c) corresponde a:

$$E_c = [\text{número de animales capturados} / \text{esfuerzo (E)}] \times 100$$

De tal forma que corresponde a un porcentaje del esfuerzo de captura (Martin *et al.* 2001). Como valor de referencia, se conoce que el éxito de captura con trampas normalmente varía entre 0,47% y 10% (Morales-Jiménez *et al.* 2004)

- El esfuerzo de muestreo de las cámaras trampa (E) se calculó multiplicando el número de cámaras trampas por el número de días de muestreo (1 día= 24 horas).

$$E = \text{número de cámaras trampa} \times \text{número de días}$$

El éxito de captura (E_c) corresponde a:

$$E_c = [\text{número de registros independientes} / \text{esfuerzo (E)}] \times 100$$

Donde cada fotografía es considerada como un registro, de estas los registros independientes se toman como las fotografías donde solo salen las especies de interés (efectivas) divididas por el número total de fotografías tomadas (Passamani *et al.* 2000, citado en Srbeek-Araujo & Chiarello 2005).

Comunidades y grupos funcionales

Es posible esbozar las relaciones funcionales de la fauna silvestre de la región por medio de algunos atributos ecológicos como son el gremio alimentario y el hábito de vida. Dichos atributos hacen referencia a la manera como las especies se relacionan con su medio ambiente por medio del uso que hacen de los recursos.

Gremios alimentarios: El gremio alimentario se define como el grupo de especies que explota la misma clase de recursos alimentarios de un modo similar (Morales 2005). Este término agrupa especies sin tener en cuenta la posición taxonómica, sin embargo, se puede encontrar una similitud entre la clasificación por Familias con los gremios tróficos (Simberloff & Dayan 1991).

Las especies se agruparon en las siguientes categorías: Insectívoro, Piscívoro, Frugívoro, Carnívoro incluyendo los animalívoros, Omnívoro, Nectarívoro, Herbívoro, Hematófago, y las posibles combinaciones de dos categorías. Se clasificó como omnívora a aquellas especies que consumen tres o más tipos de alimento. La dieta asignada a cada especie corresponde a la de su preferencia, lo cual no significa que sea el único alimento que pueda consumir.

Hábitos de vida: El hábito de las especies hace referencia al tipo de sustrato en el que desarrollan sus actividades (Eguiarte-Martínez *et al.* 1987) tales como la búsqueda de alimento, reproducción, anidación, descanso, entre otras. Los hábitos se clasificaron de acuerdo al tipo de sustrato en el que los animales desarrollan la mayoría de las actividades: terrestre, acuático, semiacuático, arborícola, semiarborícola, y volador.

Adicionalmente, se hizo la correspondiente relación de las especies con las coberturas vegetales en el área de influencia el proyecto.

2.3.2.2.2 Ecosistemas acuáticos

La caracterización de los ecosistemas acuáticos presentes en el Área de estudio, se obtuvo a través de muestreos de los grupos taxonómicos de Macroinvertebrados bentónicos, perifiton e Ictiofauna en ecosistemas lóticos, y fitoplancton, zooplancton en ecosistemas lénticos.

Adicionalmente se consultaron fuentes secundarias como estudios ambientales de línea base, publicaciones científicas, entre otros.

Macroinvertebrados bentónicos

- Trabajo de campo

Para la colecta de las muestras en cada sitio de muestreo se empleó una red Surber de 0.3 m de lado y poro de 250 μm . El material colectado se depositó manualmente en recipientes plásticos de boca ancha de 500 ml de capacidad, para lo cual se utilizaron pinceles, agujas y pinzas entomológicas, conformando las respectivas muestras, que se preservaron con solución Transeau en proporción 1:1.

- Trabajo de laboratorio

Los macroinvertebrados se identificaron bajo estereomicroscopio y microscopio de luz, con el uso de bibliografía especializada McCafferty y Provonsha, (1981), Merritt y Cummins (1983), Muñoz (1995), Ospina (1995), Pennak (1989), Rincón y Pardo (1995), Rojas y Zúñiga (1995), Roldán (1988) y Thorp y Covich (1991). Para hallar las abundancias se realizó el conteo de la totalidad de individuos colectados en las muestras cuantitativas.

Los resultados de la cuantificación de organismos correspondientes a las diferentes morfoespecies se expresaron en número de individuos por metro cuadrado (ind/m^2) por sitio de muestreo.

Perifiton

- Trabajo de campo

Para la colecta del perifiton (zoo y ficoperifiton) en cada sitio de muestreo se tomaron muestras de 30 cuadrantes de 9 cm^2 , abarcando la mayor heterogeneidad de hábitat. La película de perifiton presente en el área de cada cuadrante en las rocas se despojó mediante técnicas mecánicas, el material de raspado se colocó en frascos de 200 ml de capacidad, preservando con solución Transeau (seis partes de agua, tres de alcohol y uno de formol) en proporción 1:1, de acuerdo con lo establecido por (Bicudo & Bicudo, 1970).

- Trabajo de laboratorio

Para la determinación taxonómica de las algas perifíticas se siguió la clasificación de Bourrelly (1966, 1968, 1970), se observaron alícuotas en microscopio eléctrico convencional y se utilizaron entre otras las claves taxonómicas de Bicudo y Bicudo (1970), Comas (1991, 1996), Croasdale et al. (1983), Duque (1995), Duque y Núñez-Avellaneda (1997), Ettl (1978), Hegewald y Silva (1988), Komarek y Fott (1983), Parra et al. (1982, 1982b, 1982c, 1983), Prescott et al. (1975, 1977), Rivera et al. (1982), Sant'Anna (1984), Sant'Anna y Martins (1982), Tell y Conforti (1986) y Uherkovick (1966).

El análisis cuantitativo se hizo mediante conteo de las algas a través de cámaras de Sedgwick-Rafter según la técnica 1002F (APHA-AWWA-WPCF, 1980), de acuerdo con las recomendaciones indicadas en Villafañe y Reid (1995) y realizando conteos que cumplieran con una confiabilidad del 95% según lo establecido por Lund et al (1958). El recuento de individuos se efectuó por género numerado (morfoespecie), y los resultados para las algas perifíticas se expresaron en número de células por centímetro cuadrado (cél/cm²) por estación.

Fitoplancton

- Trabajo de campo

Para la colecta del fitoplancton se empleó una red cónica con diámetro de poro de 20 µm. El muestreo cuantitativo se realizó mediante el filtrado de 1000 litros de agua, por cada sitio de muestreo. La muestra colectada fue preservada con solución Transeau (seis partes de agua, tres de alcohol y uno de formol) en proporción 1:1, de acuerdo con lo establecido por Bicudo & Bicudo (1970), a la cual se le adicionó 0.1 ml de lugol por cada 100 ml de muestra.

- Trabajo de laboratorio

Para la determinación taxonómica del fitoplancton se siguió la clasificación de Bourrelly (1966, 1968, 1970), se observaron alícuotas en microscopio eléctrico convencional y se utilizaron entre otras las claves taxonómicas de Bicudo y Bicudo (1970), Comas (1991, 1996), Croasdale et al. (1983), Duque (1995), Duque y Núñez-Avellaneda (1997), Ettl (1978), Hegewald y Silva (1988), Komarek y Fott (1983), Parra et al. (1982, 1982b, 1982c, 1983), Prescott et al. (1975, 1977), Rivera et al. (1982), Sant'Anna (1984), Sant'Anna y Martins (1982), Tell y Conforti (1986) y Uherkovick (1966).

El análisis cuantitativo se hizo mediante conteo a través de cámaras de Sedgwick-Rafter según la técnica 1002F (APHA-AWWA-WPCF, 1980), de acuerdo con las recomendaciones indicadas en Villafañe y Reid (1995) y realizando conteos que cumplieran con una confiabilidad del 95% según lo establecido por Lund et al (1958). El recuento de individuos se efectuó por género numerado (morfoespecie).

Zooplancton

- Trabajo de campo

Para la colecta del zooplancton se empleó una red cónica con diámetro de poro de 60 µm. El muestreo cuantitativo se realizó mediante el filtrado de 1000 litros de agua, por cada sitio de muestreo. La muestra colectada fue preservada con solución Transeau (seis partes de agua, tres de alcohol y uno de formol) en proporción 1:1.

- Trabajo de laboratorio

Se siguió la metodología de conteo descrita en Paggi & Paggi (1995), mediante observación en estereomicroscopio (60X-150X) en cámara de petri con fondo reticulado. Para la identificación taxonómica se siguieron las referencias bibliográficas Koste (1978), Paggi & Paggi (1995), Gaviria (1994), Thorp, & Covich (2001) y Vucetich & Lopretto (1995), así como otras más especializadas de revisión para algunos grupos específicos.

Ictiofauna

- Trabajo de campo

Con el propósito de evaluar la comunidad de peces en el área de influencia del proyecto Tercer Carril de la Ruta 40 y estimar los potenciales impactos sobre la misma por su desarrollo, se realizó un monitoreo en 17 puntos localizados sobre el río Sumapaz y sus principales tributarios en la cuenca media-baja (Tabla 31). El muestreo se llevó a cabo entre el 8 y el 17 de agosto del año en curso, durante el periodo climático de sequía (IDEAM, 2014).

Tabla 31 Estaciones de muestreo para caracterización ictiológica en el área de influencia del Tercer Carril de la Ruta 40

ID	Cuerpo de Agua	Magna Colombia Bogotá	
		Este	Norte
PAS-1	Río Sumapaz	947.609,50	962.977,91
PAS-3	Quebrada La Palmichala	945.315,06	963.961,60
PAS-5	Dren-NN1	944.037,46	963.617,60
PAS-7	Dren-NN2	943.640,97	963.639,33
PAS-10	Dren-NN3	943.262,08	963.552,53
PAS-11	Dren-NN4	942.929,32	963.338,26
PAS-13	Quebrada La Cascada	944.322,26	963.590,88
PAS-17	Dren-NN7	947.418,37	963.188,61
PAS-18	Dren-NN8	946.270,31	964.001,50
PAS-22	Dren-NN10	933.067,80	957.137,69
PAS-26	Río Sumapaz	945.261,22	963.979,71
PAS-27	Río Sumapaz	942.795,11	963.355,87
SumBoq	Río Sumapaz arriba de Boquerón	947.991	962.618
PALAGAR	Quebrada Palmichala aguas arriba	945.325	962.249
CASCADA 1	Quebrada la Cascada 1 aguas arriba	944.486	963.157
CASCADA 2	Quebrada La Cascada 2 aguas arriba	944.337	963.159
ZODME	Río Sumapaz en ZODME	932.739	956.719

Fuente: INGETEC. Presente estudio

Dada la heterogeneidad ambiental encontrada en esta zona, se usaron varias metodologías, cuyos resultados fueron integrados con el objeto de cumplir con los alcances propuestos para este componente. De acuerdo con lo citado por Batista dos Anjos & Zuanon (2007) y Terra, Hughes, & Araújo (2013) cada punto de muestreo cubrió una distancia de al menos 30 veces el ancho medio del cauce, abarcando la mayor cantidad posible de microhábitats presentes en la zona.

Las técnicas de muestreo empleadas fueron las siguientes:

- Atrarraya
- Jameos

Los individuos capturados y seleccionados para su identificación taxonómica en el laboratorio, fueron anestesiados en una solución de clavo (Perez, y otros, 2010) y posteriormente introducidos en bolsas de plástico, agregando finalmente una solución de formaldehído al 10% de concentración (Kelsch & Shields, 1996). Conjuntamente se agregó la etiqueta con los datos de colecta y se selló la bolsa para evitar derrames. La fijación se completó 12 hrs después de la inmersión en la solución de formaldehído, pero fue esencial la revisión

durante las seis primeras horas. Las muestras de peces con espinas fuertes en las aletas fueron retirados del formol durante la primera hora, para bajar las espinas antes del endurecimiento, facilitando su almacenamiento. Finalmente, las muestras fijadas fueron dispuestas en una nevera de icopor para su traslado a la ciudad de Bogotá y posterior determinación taxonómica.

- Trabajo de laboratorio

El material fijado en campo se lavó repetidamente con agua, y se preservó en alcohol etílico al 70%. Posteriormente, los peces colectados fueron identificados de acuerdo a las claves taxonómicas de Schultz, 1944, Dalh, 1971, Galvis et al, 1997, Géry, 1977, Maldonado-Ocampo et al, 2005, Covain y Fisch-Muller 2007. Así mismo, para verificar algunas determinaciones, el material se comparó con el material existente de la colección de peces del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional sede Bogotá. El material clasificado fue debidamente etiquetado con la información de campo y depositado en la colección de peces del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional sede Bogotá (MHN-ICN).

Análisis de la información

- Índices ecológicos

Adicionalmente a los análisis de riqueza, abundancia y composición taxonómica se calcularon los índices ecológicos de Shannon-Wiener (H'), equidad (J') y Dominancia (λ) para todos los grupos, exceptuando las macrófitas ya que en los sitios de muestreo no se evidenció su presencia.

- *Índice de Shannon-Wiener (H')*: Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995). Se asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

- *Equidad de Pielou (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 (Magurran, 1988).

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Dónde:

$H'_{\max} = \ln(S)$.

Donde la H'_{\max} corresponde a logaritmo natural del número de especies, este índice intenta comparar el valor obtenido para el índice de Shannon con el valor máximo que podría tener dicho índice de acuerdo a la riqueza de la comunidad (S), se expresa en porcentaje entre 0 y 1, con 0 indicando el valor mínimo y 1 el valor máximo de diversidad.

- *Índice de Simpson (λ)*: Este índice manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Similitud de Jaccard:

Para los grupos taxonómicos macroinvertebrados bentónicos y perifiton, se realizó un análisis de similitud a través del uso del coeficiente de similitud Jaccard.

Este índice expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Magurran, 1988). El intervalo de valores para este índice va de 0 (cero) cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 (uno) cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies (Moreno 2001).

Correlación de las comunidades hidrobiológicas y variables fisicoquímicas

Para relacionar las variables fisicoquímicas con el componente biótico de los ecosistemas acuáticos, fueron empleados los órdenes de macroinvertebrados bentónicos y las clases de algas perifíticas identificadas para la zona. Dicha elección es motivada por la capacidad que tienen estos organismos como bioindicadores de la calidad del agua, y debido a que estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo. La correlación de las variables fisicoquímicas y los datos de bentos y perifiton colectados en los cuerpos de agua estudiados, se realizó por medio de un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC) a través del programa PAST 3.1 (Hammer, 2001). Este análisis permite relacionar las variables ambientales con los de composición de la comunidad (Ter Baak, 1986), de esta forma se puede inferir cuales son los parámetros que influyen o no, en un grupo taxonómico determinado.

2.3.2.3 Medio socioeconómico

A partir de la revisión de la información del proyecto, se desarrolló de manera preliminar la revisión de la información básica del Proyecto (descripción) y se inició la búsqueda de información secundaria válida en el marco de lo establecido por parte de la Metodología General para la Elaboración de Estudios Ambientales para cada uno de los componentes del estudio.

Específicamente para los aspectos socioeconómicos, la información secundaria se utilizó para la caracterización de las áreas de influencia fundamentalmente para las unidades territoriales mayores; para ello se recurrió a la información de los municipios vinculados (planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo, perfiles epidemiológicos, bases de datos de SISBEN) y los departamentos (plan de desarrollo, estudios o documentos de tendencias del desarrollo) así como la información existente en otras entidades como el DANE, IGAC, DNP, entre otras.

Por su parte, para la caracterización de las unidades territoriales menores se llevaron a cabo ejercicios participativos de recolección de información primaria en campo, a través de la utilización de las siguientes herramientas:

- a) Ficha veredal: en la cual se consignaron los distintos datos cuantitativos e información cualitativa que caracteriza cada territorio desde el punto de vista demográfico, espacial, cultural, económico.
- b) Ejercicio de cartografía social: el cual consistió en que los actores sociales participantes graficaron su territorio y con él todos los elementos socioeconómicos como infraestructura (vías, caminos, viviendas, zonas de cultivos, infraestructura de servicios públicos, etc.), recursos naturales presentes. De igual manera la cartografía permitió corroborar los límites de las unidades territoriales menores y sus principales referentes, configurándose en una estrategia que posibilita conocer la realidad del territorio de una manera participativa en la que ellos son protagonistas ya que son los pobladores quienes directamente aportan la información. Para el desarrollo de este ejercicio se utilizaron materiales como pliegos de papel para poder dibujar y/o localizar los principales referentes, y materiales complementarios como marcadores, figuras, entre otros.

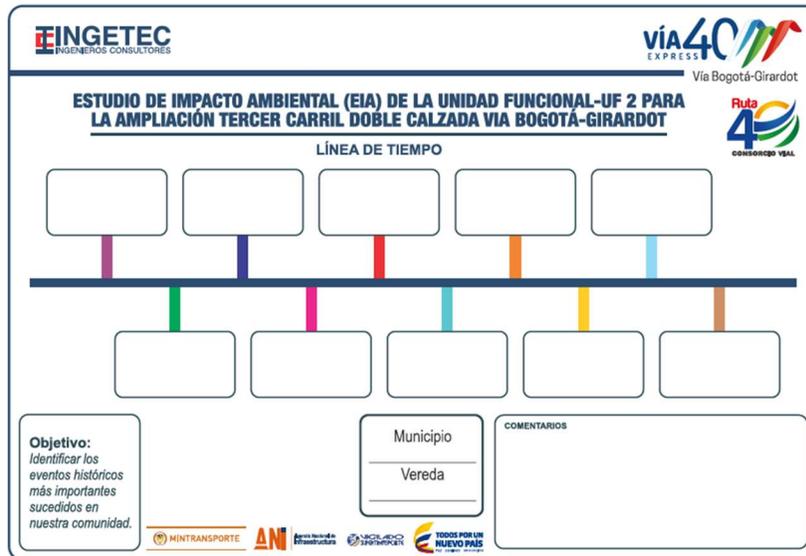
- c) Calendario cultural: el cual tenía como objetivo identificar y recolectar información acerca de los procesos culturales, económicos y sociales de la comunidad

Figura 21 Calendario Cultural



- d) Línea de tiempo: tenía como objetivo identificar los eventos históricos más relevantes en la comunidad

Figura 22 Línea de tiempo



- e) Servicios ecosistémicos: a fin de capturar información relacionada con la identificación de los servicios ecosistémicos y la dependencia de las comunidades, se trabajó una matriz tamaño pliego, en la cual las comunidades de cada vereda identificaron los servicios ecosistémicos, previo a la explicación que el coordinador de la actividad brindó sobre el significado de los servicios ecosistémicos.

Figura 23 Ficha servicios ecosistémicos

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) DE LA UNIDAD FUNCIONAL-UF 2 PARA LA AMPLIACIÓN TERCER CARRIL DOBLE CALZADA VIA BOGOTÁ-GIRARDOT

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Objetivo: Reconocer los servicios ecosistémicos disponibles en nuestro medio. Presente y futuro
 Categoría aprovisionamiento, Categoría Regulación, Categoría Culturales

Servicio Identificado	Número de dónde se toma el recurso	Usos (Cultivos y criaderos)	Importancia para las comunidades (alta, media, baja)	¿Cómo se provee? (porcentaje de disponibilidad de la comunidad)	¿Por qué existe ese servicio allí?
Fuente de agua para consumo humano					
Agua para minería y otros					
Agua para agricultura					
Fuente de Minerales					
Madera					
Fibras y resinas					
Pasco y escoculturas					
Cerros y plantas					
Plantas medicinales					
Ingredientes y alimentos naturales					
Ganadería					
Agricultura					
Control erosión					
Producción de aire limpio					
Recreación y turismo					
San espiritual, intencional, parte de la identidad de la comunidad					

Municipio: _____ Vereda: _____

Como complemento a los ejercicios de participación previamente realizados, y para recopilar información de la infraestructura social presente en el territorio se realizó un recorrido de observación por el trazado del proyecto, con el fin de verificar en campo y hacer un reconocimiento de las unidades territoriales y los diferentes elementos socioeconómicos presentes.

Una vez recopilada la información tanto de orden primario como secundario, para la respectiva caracterización de las unidades territoriales menores y mayores, de acuerdo con lo solicitado en los Términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles” (Resolución 0751 de 2015) acogidos para el presente estudio, se procedió al análisis de la información y posterior elaboración de los capítulos respectivos.

En específico para la aplicación de lineamientos de participación se generaron distintos espacios de relacionamiento y exposición del proyecto, así como de identificación de impactos y planteamiento de manejos por parte de las comunidades. En el capítulo específico de participación se relatan las metodologías utilizadas.

Tal como es requerido en el numeral 5.3.5.2 comunidades étnicas de los términos de referencia para la elaboración del EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles se elevó la solicitud de Certificación de presencia o No de grupos étnicos en el área de Influencia del proyecto.

2.3.3 Zonificación ambiental

Como consecuencia de la elaboración de la línea base ambiental (Caracterización de los medios abiótico, biótico y socioeconómico) se realizó la zonificación ambiental, la cual consiste en plasmar cartográficamente los elementos identificados de acuerdo con los criterios asociados a las potencialidades, fragilidades y sensibilidad ambiental del área de influencia en su condición sin proyecto.

- Metodología de Zonificación ambiental:

La integración de los componentes que conforman las unidades de zonificación se realizó utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcGis mediante algebra de mapas que permiten visualizar espacialmente la sensibilidad del territorio en el área de influencia de proyecto.

Paso 1: agrupación de atributos definidos en los diferentes medios analizados: abiótico, biótico y socioeconómico.

La condición de sensibilidad se establece en tres escalas, desde un ambiente frágil hasta un ambiente con potencialidad ambiental así:

- Frágil
- Sensibilidad alta
- Sensibilidad media
- Sensibilidad baja
- Potencialidad baja
- Potencialidad media
- Potencialidad alta

Atendiendo lo indicado en la Metodología para la Elaboración de Estudios Ambientales (MAVDT, 2010), estas categorías se homologan con las requeridas en la geodatabase de zonificación ambiental de la siguiente manera:

Tabla 32 Homologación de áreas definidas para la zonificación y su presentación en la geodatabase

CATEGORÍA		DENOMINACIÓN PARA LA GEODATABASE
Frágil		Sensibilidad muy alta
Sensibilidad alta		Sensibilidad alta
Sensibilidad media		Sensibilidad media
Sensibilidad baja		Sensibilidad moderada
Potencialidad baja		Sensibilidad baja
Potencialidad media		Sensibilidad baja
Potencialidad alta		Sensibilidad muy baja

En la siguiente figura se muestra que el grado de afectación o cambio se incrementa a partir de la categoría de potencial hasta la de frágil y que la capacidad de recuperación ante cargas adicionales es inversa a su grado de cambio.

Figura 24 Áreas de sensibilidad ambiental



Fuente: INGETEC.

Paso 2: superposición de información temática y obtención de planos intermedios.

Una vez obtenida la zonificación para cada elemento definido, se realizó la superposición de información temática utilizando sistemas de información geográfica (SIG) mediante el cruce y superposición de categoría de sensibilidad (álgebra de mapas) para cada medio analizado. Esta superposición genera como resultado cinco mapas:

- Áreas de especial importancia ecológica
- Áreas de recuperación ambiental
- Áreas de riesgo y amenazas
- Áreas de producción económica
- Áreas de importancia social

Para cada uno de los componentes de cada categoría, se incluyeron los rangos y clases existentes en el área del proyecto. Ejemplo: para la categoría de Áreas de Especial importancia ecológica, en el medio biótico, ecosistemas terrestres, el análisis se realiza con las coberturas vegetales existentes a las cuales se les ha asignado una categoría de zonificación de las definidas (frágil, sensibilidad alta, sensibilidad media, sensibilidad baja, potencialidad baja, potencialidad media y potencialidad alta).

Del anterior ejercicio resulta un mapa síntesis de cada una de las categorías de la Tabla 32 estos se cruzaron mediante álgebra de mapas, tal como se presenta en la Tabla 33, primando la condición de mayor sensibilidad:

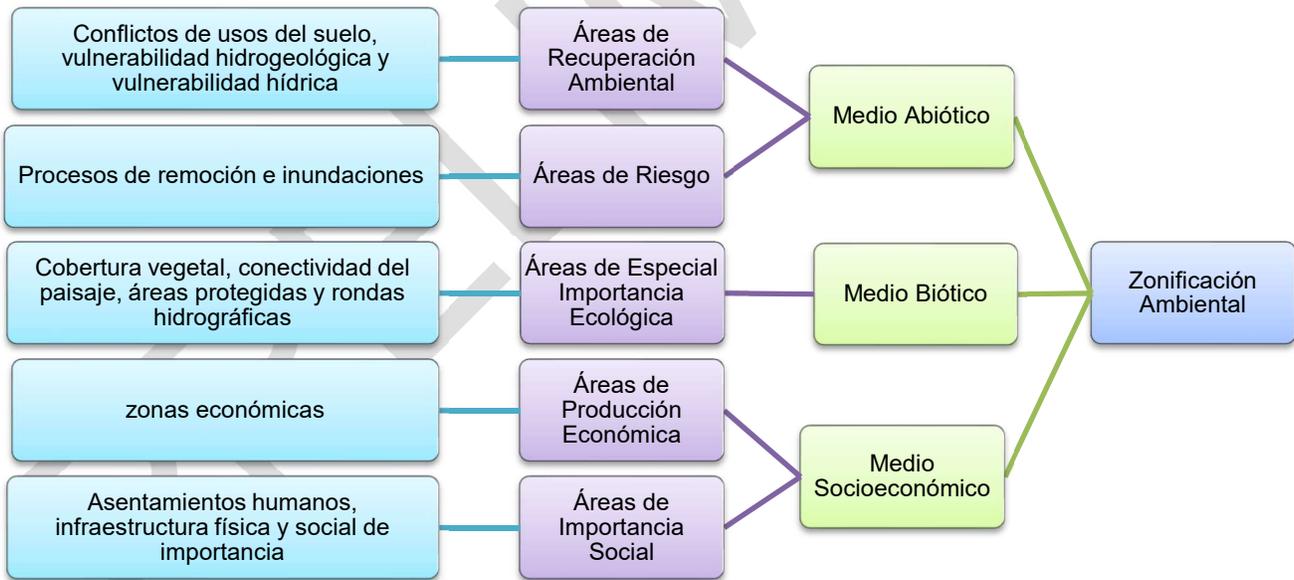
Tabla 33 Matriz de superposición para obtención de zonificación

Categoría \ Categoría	Frágil F	Sensibilidad alta SA	Sensibilidad media SM	Sensibilidad baja SB	Potencialidad baja PB	Potencialidad media PM	Potencialidad alta PA
Frágil F	F	F	F	F	F	F	F
Sensibilidad alta SA	F	SA	SA	SA	SA	SA	SA

Categoría \ Categoría	Frágil F	Sensibilidad alta SA	Sensibilidad media SM	Sensibilidad baja SB	Potencialidad baja PB	Potencialidad media PM	Potencialidad alta PA
Sensibilidad media SM	F	SA	SM	SM	SM	SM	SM
Sensibilidad baja SB	F	SA	SM	SB	SB	SB	SB
Potencialidad baja PB	F	SA	SM	SB	PB	PB	PB
Potencialidad media PM	F	SA	SM	SB	PB	PM	PM
Potencialidad alta PA	F	SA	SM	SB	PB	PM	PA

Paso 3: superposición de mapas intermedios del paso anterior, para obtener el mapa final de zonificación. Se obtiene un mapa único de zonificación ambiental, resultante de la superposición de los mapas de zonificación de las áreas de especial importancia ecológica, de recuperación ambiental, de riesgo y amenazas, de producción económica y de importancia social. (Ver Figura 25)

Figura 25 Secuencia de superposición de mapas para obtención del mapa final de zonificación



Fuente: INGETEC.

2.3.4 Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales.

Con base en la descripción y requerimientos del Proyecto en sus etapas de preconstrucción y construcción, se presenta la demanda de recursos naturales orientados hacia la concesión de aguas superficiales, vertimientos, ocupaciones de cauce y aprovechamiento forestal, dando cumplimiento a los siguientes requerimientos:

2.3.2.4 Captación de aguas superficiales continentales

Se contemplan tres puntos de captación sobre el río Sumapaz. De acuerdo con la Ley 373 de 1997. "Política nacional para la Gestión del Riesgo Integral del Recurso Hídrico" y la política de producción más limpia y consumo sostenible, se formuló el programa de ahorro y uso eficiente del agua para las concesiones solicitadas y para el uso eficiente de la energía.

2.3.2.5 Vertimientos:

Se tienen contemplados vertimientos originados por las aguas de infiltración de los túneles, identificando cinco puntos sobre el río Sumapaz, un punto de vertimiento del área de Taller de ARnD que entregara el vertimiento al río Sumapaz.

2.3.2.6 Ocupación de cauces

 Basado en el inventario de obras hidráulicas (alcantarillas) que atraviesan la vía existente de la Unidad Funcional 2, se establecieron las obras que requieren ser ampliadas y/o duplicadas en el tercer carril propuesto en zonas donde no se plantea túneles.

2.3.2.7 Aprovechamiento forestal

Se realizó con base en la metodología de los términos de referencia emitidos por el Ministerio del Medio Ambiente, específicamente el Decreto 1791 del 04 de octubre de 1996, denominado régimen de Aprovechamiento Forestal, aplicable en aquellas áreas que serán afectadas por las obras del proyecto.

Fase de campo

Para el levantamiento de la información de campo se realizará un muestreo estratificado al azar de las especies ubicadas en el área de influencia del proyecto con el fin de estimar un valor de volumen total arbóreo a remover, para ello se efectuó la siguiente metodología.

Se toma como base la cartografía temática correspondiente a las zonas, mediante las cuales se definieron las áreas a inventariar en campo, paralelamente se establecen las actividades y recursos necesarios para el reconocimiento de la vegetación arbórea o arbustiva a evaluar partiendo de árboles o arbolitos mayores a 10 cm de DAP o 31,5 cm de CAP.

Para el Inventario forestal, se emplearán formularios de campo digitales, elementos como planos, cinta métrica, GPS, cámara fotográfica y computador para la toma de datos, la evaluación y análisis de la información. El formato de campo tiene en cuenta los datos que por individuo deben registrarse, contemplando los parámetros presentados en la Tabla 34.

Tabla 34 Parámetros contemplados para el inventario forestal

Parámetros contemplados	
Nombre común	Es el nombre regional dado a un ejemplar vegetal.
Especie	Cada árbol, arbusto o planta se conoce por uno o varios nombres comunes dependiendo de la región. Para la estandarización de dichos nombres a nivel universal, cada planta fue identificada con su nombre científico. Estas especies algunas fueron determinadas en campo teniendo en cuenta caracteres dendrológicos y botánicos, otras requirieron ser colectadas para ser procesadas e identificadas en la fase de oficina por medio de las herramientas dendrológicas y botánicas, fotografías y consultas en herbarios virtuales certificados; siguiendo la metodología de colecta descrita por (Herbario Forestal UDBC, Sf).
Altura total	Comprende la medida entre el suelo o base del árbol y el límite superior del follaje.
Altura comercial	Comprende la medida entre la base del árbol y la primera ramificación.
C.A.P.	Se refiere a la circunferencia del tronco a la altura de 1,3 metros posteriormente convertida en DAP.
Localización y Georreferenciación	Cada una de las especies evaluadas serán georreferenciadas, utilizando como herramienta un GPS Oregon 550 marca Garmin con error de 5 m aproximadamente. Esto se realizará para la parcela principal de cada cobertura, para las restantes solamente se registrar la coordenada inicial y final de la parcela.
Diámetros de Copa	Diámetro mayor y diámetro menor de la copa de cada individuo dentro de la parcela.

- Para el diligenciamiento de la información de campo se utilizarán formatos digitales como se observa en la Figura 26, este es para el caso de las parcelas principales de cada cobertura vegetal, teniendo en cuenta que esta debe contar con las coordenadas de cada individuo; para el resto de las parcelas de cada cobertura solamente se tendrá en cuenta la coordenada inicial y final de cada parcela.

Figura 26 Formato digital a diligenciar para las parcelas principales de cada cobertura.

						Proyecto:			
Responsable:						Corporacion:			
Parcela:		Coordenada inicial:		X	Y	Altitud (msnm)			
Fecha:		Coordenada final:		X	Y	Hoja __ de __			
Cobertura:					Observaciones:				
No.	Nombre Comun	CAP (cm)	Altura (m)		Copa X (m)	Copa Y (m)	Coordenadas GPS		Observaciones
			Total	Com.			Este	Norte	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

Fuente: INGETEC.

Fase de oficina

Posterior al levantamiento de información en campo se realizará el procesamiento de dichos datos (identificación de muestras botánicas, organización de bases de datos e información cartográfica) para obtener las métricas solicitadas; entre estas se tiene las siguientes:

- Parámetros fitosociológicos

Análisis de la composición florística a nivel de familias, géneros y especies usando los datos obtenidos estimando los parámetros de abundancia, dominancia y a partir de esto el Índice de Valor de Importancia para las especies (IVI) (Finol, 1971) en los caso donde se registró DAP. Además, se aclara que para los cálculos de IVI sólo se tienen en cuenta los elementos fustales con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Abundancia Relativa} = 100 \times (\text{Número de individuos por especie} / \text{número de individuos total de individuos de la comunidad})$$

$$\text{Dominancia Relativa} = 100 \times (\Sigma \text{Área Basal de todos los individuos de la especie} / \Sigma \text{Área Basal de toda la comunidad})$$

$$\text{Índice de valor de importancia (IVI)} = \Sigma \text{Dominancia Relativa} + \text{Abundancia Relativa}.$$

A través de estos parámetros se realizará el análisis de estructura horizontal y vertical del Inventario Forestal; el análisis de la Estructura Horizontal medirá la participación de las diferentes especies y su relación con las demás, por medio de diferentes índices como abundancia y dominancia (ver Tabla 35).

Tabla 35 Índices Estructura Horizontal

Índice	Descripción
Abundancia	Número de individuos por unidad de superficie pertenecientes a cada especie
Dominancia	Se expresa por el área basal (Matteucci & Colma, 1982) calculada en valor absoluto y relativo indica la participación de las especies en el área basal total.
Clases Diamétricas	Se crearon intervalos utilizando la regla de Herbert Sturges que determina el número de clases para realizar histogramas $C = X_{max} - X_{min} / m$ y $m = 1 + 3,3 (\text{Logaritmo } 10 \ n)$

Para el análisis de la Estructura Vertical se tienen en cuenta las alturas registradas para cada individuo para el cálculo de clases altimétricas, dando una idea de la estratificación dentro de la comunidad evaluada (ver Tabla 36).

Tabla 36 Índices estructura vertical

Índices	Descripción
Clases Altimétricas	Se crearon intervalos utilizando la regla de Herbert Sturges que determina el número de clases para realizar histogramas $C = X_{max} - X_{min} / m$ y $m = 1 + 3,3 (\text{Logaritmo } 10 \ n)$

- Cuantificación de volumen

De acuerdo con la fórmula propuesta por González et al. (2004) el volumen se calcula de la siguiente manera:

$$V = ABxHtxff$$

Dónde:

V: Volumen (m³)

AB: Área basal (m²)

Ht: Altura total (m)

F.F: Factor Forma que corresponde a 0,7 para bosques tropicales

- Cuantificación de biomasa

La metodología utilizada para la cuantificación de biomasa se basa en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa – carbono en Colombia realizado por el IDEAM (Yepes, y otros, 2011) para la zona de vida Bosque Seco Tropical. La Biomasa aérea según dicho protocolo incluye toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, para el caso de los bosques incluye todas las plantas leñosas a excepción de algunas lianas.

Es así como la Biomasa Aérea en este caso se define por medio de la siguiente ecuación (IDEAM 2011):

$$\ln (BA) = (a + b \ln (D) + c (\ln (D))^2 + d (\ln (D))^3 + B1 \ln (\vartheta)) *R2$$

Donde,

BA = Biomasa Aérea

D = es el Diámetro a la Altura del pecho en cm.

ϑ = es la densidad de cada especie dada en g/cm³.

a, b, c, d, B1 y R2 = son coeficientes alométricos que se adecuan a la zona en la que se desea calcular la biomasa; para el caso puntual el área de influencia directa del proyecto se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Seco Tropical, por tanto los coeficientes corresponden a 4,040, -1,991, 1,237, -0,126, 1,283 y 0,954 respectivamente.

En el caso de la densidad se utiliza la base de datos de Zannel *et al* (2009) donde se encuentran registradas la mayoría de las densidades de la madera para las especies registradas en campo. Para las especies cuyos valores de densidad no se encontraron en la base de datos, se tomaron los registros promedio de densidad con especies del mismo género o de la misma familia dependiendo el caso.

La biomasa de raíces de acuerdo a lo citado por IDEAM (2011), se calcula mediante la siguiente ecuación para bosque natural

$$BRG= R \times BA$$

Donde,

BRG: Biomasa de raíces gruesas

R: Relación de raíces, el valor que recomienda la literatura es 0.24 para la zona del trópico.

BA: Biomasa Aérea

- Error de Muestreo

A partir del cálculo del error de muestreo por cobertura con cada uno de los individuos censados se extrapolará el valor de volumen total y comercial, así como el de biomasa a las áreas totales de cada cobertura. Se estimará el error de muestreo para la variable de volumen en cada uno de los tipos de coberturas (estratos establecidos) teniendo como unidad de muestreo la parcela muestreada. Los estadígrafos a calcular para la población total corresponden a la media estratificada de la población y al error estándar de la media estratificada, los cuales se describen en la Tabla 37.

Tabla 37 Estadígrafos para el cálculo de error de muestreo.

• Estadígrafo	• Formula	•
Media Aritmética (x) Medida de tendencia central (Canavos, 1999)	$X = \frac{\sum X_i}{n}$	X_i = valor observado de unidad i-estima de la muestra n = número de unidades de la muestra(tamaño de muestra)

• Estadígrafo	• Formula	•
Desviación estándar (S) Caracteriza dispersión de los individuos con respecto a la media (Canavos, 1999)	$S = \sqrt{\frac{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$	$n-1$ = Grados de libertad
Coficiente de variación (CV) Medida de la desviación estándar (Canavos, 1999)	$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$	S = Desviación estándar X = Media
Error estándar (Sx) mide el desvío de las medias muestrales respecto a la media poblacional (Canavos, 1999)	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} * \sqrt{1-f}$	S = Desviación estándar n = Tamaño de la muestra (expresada en parcelas) f = Fracción de Muestreo que es la relación (n/N) entre el tamaño de la muestra n y el tamaño total del área N
Error de muestreo (Em%)	$Em(\%) = \frac{E}{\bar{X}}$	E = Error de muestreo absoluto X = Media aritmética
Límites de confianza Límites de la media poblacional	$\bar{X} - t(S_x) \leq \mu \leq \bar{X} + t(S_x)$	μ = Media poblacional X = Media muestral T(Sx) = Error muestreo absoluto

2.3.2.8 Materiales de construcción

Se recopiló la información de las fuentes de materiales y plantas procesadoras localizadas en el área de influencia del proyecto y zonas aledañas que permitan obtener los materiales requeridos para la construcción del tercer carril de la Unidad Funcional 2.

Se presentó la relación de los proveedores, así como la documentación soporte de los permisos mineros y ambientales requeridos para el cumplimiento de la normatividad vigente.



2.3.5 Evaluación Ambiental

Con base en la descripción del proyecto, en la caracterización y en la zonificación del área, se evaluaron los impactos ambientales que se generan a los medios abiótico, biótico y social. Esta evaluación se realizó en dos escenarios: con y sin proyecto a fin de reconocer y precisar los impactos atribuibles al proyecto.

La metodología de evaluación de impactos ambientales se basa originalmente en la propuesta de la Unidad Planeación Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1986, con el propósito de evaluar Proyectos de aprovechamiento hidráulico de la empresa, pero posteriormente se utilizó para evaluar todo tipo de Proyectos de EPM y ha sido utilizado por otros evaluadores para muchos tipos de Proyectos con resultados favorables. Ha sido aprobado por las autoridades ambientales colombianas y por entidades internacionales como el Banco Mundial y el BID (Arboleda, 2008).

La metodología acorde con los cambios y las tendencias sobre evaluación ambiental ha venido modificándose con los años hasta la versión realizada por el autor en el año 2008 y con base a la experiencia de la firma consultora INGETEC S.A se han adicionado criterios sugeridos en la “Metodología General para la presentación de estudios Ambientales”, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MVDT, 2010). En este documento se hace mención explícita a “Los criterios a considerar para la evaluación cuantitativa y cualitativa pueden ser entre otros, carácter, cobertura (entorno de afectación), magnitud, duración, resiliencia, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, tendencia, tipo y posibilidad de ocurrencia”. Adicionalmente han sido tenidas en cuenta las recientes incorporaciones de criterios en los términos de referencia emitidos por el ANLA para distintos sectores desde el año 2015.

2.3.2.9 Enfoque

INGETEC ha construido una metodología de evaluación ambiental "ad hoc" elaborada a partir de la experiencia de la firma con los criterios e indicadores utilizados en diversos estudios ambientales.

Es un enfoque analítico porque implica un examen detallado del impacto a partir de la consideración, por separado, de los elementos o aspectos que lo constituyen, componen y/o explican para conocer sus características cuantitativas y cualitativas y para extraer conclusiones o síntesis que permitan su descripción, explicación y comprensión.

- El enfoque es **sistemático** porque implica llevar a cabo un proceso lógico y metódico de conocimiento y reconocimiento del impacto teniendo en cuenta una serie de pasos de investigación que permitan acceder, de manera secuencial y controlada, a su conocimiento.
- El enfoque es **sistémico** porque cada impacto se analiza como parte integral del conjunto de impactos con los cuales mantiene conexiones, relaciones, interrelaciones, interacciones e interdependencias.
- El enfoque es **sincrónico** y a la par diacrónico porque además de plantear las situaciones de coyuntura del medio ambiente, con relación al momento de planeación del Proyecto, considera también elementos descriptivos de la situación ambiental de la zona del Proyecto, a través del tiempo, teniendo en cuenta los antecedentes y las tendencias más relevantes de los fenómenos estudiados.
- El enfoque es **integral e interdisciplinario** porque adopta, como fundamento del proceso de evaluación de impactos, el trabajo en equipo de especialistas a través del desarrollo del panel de expertos⁶ y la utilización de herramientas de análisis estructural⁷ e incorpora, en la evaluación del impacto, la puesta en juego de diversas miradas, desde distintas disciplinas, e información diversa de los medios físico, biótico y social.
- El enfoque metodológico es **riguroso** porque adopta criterios de precisión, pertinencia validez⁸, confiabilidad⁹ y verificabilidad¹⁰ en el manejo de información cuantitativa y cualitativa utilizada y en las fuentes primarias y secundarias consultadas.
- El enfoque de la metodología es **funcional** porque pretende generar análisis útiles que contribuyan, de manera efectiva, al apoyo en la toma de decisiones ambientales sobre el Proyecto.

⁶ Un panel es una reunión entre varios expertos o especialistas sobre un tema concreto; en este caso es realizado con los especialistas de la firma en los medios físico, biótico y socioeconómico de acuerdo con su especialidad, sobre el tema a tratar.

⁷ El análisis estructural es una herramienta de la planeación prospectiva utilizada para la estructuración de la reflexión o inteligencia colectiva con el objetivo de comprender un tema complejo. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona todos sus elementos constitutivos. El análisis estructural tiene por objetivo, hacer aparecer las principales variables influyente y dependientes y por ello las variables esenciales a la evolución del sistema. El análisis estructural se realiza por un grupo de trabajo compuesto por actores y expertos con experiencia demostrada, pero ello no excluye la intervención de "consejeros" externos.

⁸ Validez es la exactitud, sustentabilidad y vigencia de la información aportada por una entidad o persona competente. La información (para que sea válida) debe ser contrastable con verdades fácticas y/o formales, y comprobable por métodos generalmente aceptados. La validez se refiere también, y de modo específico, al grado hasta el cual los instrumentos de recolección de información miden lo que están intentando medir.

⁹ Confiabilidad es la capacidad de la información obtenida de funcionar de la manera prevista, aportando de modo efectivo y reiterativo los datos, sin generar inconsistencias por un período de tiempo específico y bajo condiciones indicadas. La confiabilidad indica también el grado hasta el cual los instrumentos de recolección de información producen los mismos resultados, cuando son repetidos por el agente original que los aplicó o por otros agentes.

¹⁰ Verificación es la acción de verificar o probar que una cosa es verdadera. Significa también examinar la verdad de una cosa, o probar que una cosa (sobre la cual se duda) es verdadera. De igual modo, la verificación se entiende como el acto de comprobar o examinar la verdad de una cosa.

2.3.2.10 Desarrollo de la Metodología

El proceso de aplicación de la metodología de evaluación de impactos de INGETEC considera los siguientes pasos:

- **Paso 1.** Conocimiento de las características técnicas del Proyecto.
- **Paso 2.** Recopilación y análisis de información secundaria disponible sobre la zona del Proyecto, información que constituye el insumo principal en la elaboración de la línea base.
- **Pasó 3.** Primer panel de expertos. Planteamiento de hipótesis de impacto en el escenario con Proyecto (con base en las características técnicas del Proyecto y la información secundaria disponible).
- **Paso 4.** Definición de las áreas de influencia preliminares por componente (con base en los resultados del primer panel de expertos y en las hipótesis de impacto planteadas).
- **Paso 5.** Elaboración de instrumentos de recolección de información primaria y cartografía de campo (con base en hipótesis de impacto planteadas y la definición del Área de Influencia Preliminar).
- **Paso 6.** Realización de trabajo de campo con enfoque y énfasis en la información relevante de acuerdo con las hipótesis de impacto planteadas. (Recolección de información primaria desde los diferentes medios).
- **Paso 7.** Elaboración de la línea de base o caracterización de los medios físico, biótico y social.
- **Paso 8.** Identificación del escenario sin Proyecto y las tendencias (con base en la línea base de los medios físico, biótico y socioeconómico) en la Matriz de identificación por componente.
- **Paso 9.** Realización del segundo panel de expertos. Análisis Estructural para la determinación de las sinergias en el escenario sin Proyecto; calificación del escenario sin Proyecto y su jerarquización.
- **Paso 10.** Elaboración de fichas en el escenario sin Proyecto.
- **Paso 11.** Identificación de impactos en el escenario con Proyecto.
- **Paso 12.** Realización del tercer panel de expertos. Análisis Estructural para la determinación de las sinergias de los impactos con Proyecto; calificación de impactos con Proyecto y jerarquización de impactos (determinación de los impactos “Muy Significativos”, “Significativos” y “moderadamente significativos” “Poco Significativos” en el escenario con Proyecto).
- **Paso 13.** Elaboración de fichas de impactos en el escenario con Proyecto.
- **Pasó 14.** Elaboración del cuadro general de declaración de impactos ambientales del Proyecto.

2.3.2.11 Definición de los Escenarios

Para una valoración adecuada de los impactos que pueda llegar a presentarse con la ejecución del proyecto Construcción de túneles cortos y ampliación de vía existente, para tercer carril en ambos sentidos para la vía Bogotá - Girardot desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000) es importante evaluar las condiciones actuales y la tendencia del componente y/o sujeto en análisis (sin Proyecto) y las esperadas (con Proyecto), como se muestra a continuación:

2.3.2.12 Escenario sin Proyecto (Análisis de la tendencia)

En este escenario se evaluó para el sujeto y/o componente del ambiente analizado la línea base levantada en la caracterización ambiental y su escenario tendencial, sin que intervenga en este análisis el Proyecto que se quiere insertar en el territorio. Es importante resaltar que aquí no se analiza un impacto, sino la tendencia del sujeto y/o componente en el territorio.

La identificación se realizó con una matriz de interacción que contrasta para cada uno de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, las condiciones actuales de los componentes y sujetos frente a la tendencia, denominada matriz de identificación por componentes en el escenario sin Proyecto. La metodología define para el caso del escenario sin proyecto un índice conformado por ocho (8) parámetros o indicadores claves que determinan la tendencia del elemento y/o sujeto analizado dentro del entorno natural y social. En relación con cada impacto que se está evaluando y para el elemento o atributo analizado se considera el escenario sin Proyecto mediante la aplicación de una ficha.

Con el fin de ilustrar por medio del índice el comportamiento del componente y/o elemento del ambiente en análisis se igualan los rangos de valores a un máximo común, correspondiente a uno (1). Los coeficientes de ponderación se definen para cada parámetro como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 38 Parámetros y coeficientes de Ponderación del Índice de Afectación Neta (IAN) en el escenario Sin Proyecto

Ítem	Notación del parámetro	Nombre del parámetro	Coefficientes de ponderación	Explicación de la ponderación
1	CR	Carácter	No aplica	Su importancia en este escenario es indicativa, dado que su correlación es para determinar la tendencia del medio.
2	MR	Magnitud Relativa	0,27	Se considera como el segundo parámetro con mayor ponderación, dado que se relaciona con la confiabilidad y precisión de la predicción y la magnitud del cambio.
3	DU	Duración	0,15	La duración es el tercer parámetro con peso en la ponderación y se relaciona con la temporalidad del cambio que incide en la tendencia del medio.
4	NV	Nivel de Vulnerabilidad	0,30	Se considera que este parámetro es el mayor peso dado que la vulnerabilidad se relaciona de manera directa con la sensibilidad y la capacidad de recuperación del elemento analizado en relación con la tendencia del medio.
5	RESILE	Resiliencia o adaptabilidad	0,01	Da cuenta de la capacidad para asimilar los cambios, en el entendido que es sobre lo existente y vigente, es decir sobre el "status quo" si bien en la explicación del parámetro se realiza el respectivo análisis indicando los mecanismos adaptables o resilientes para cada uno de los medios, su ponderación no es determinante para el cálculo del IAN.
6	SINE	Sinergia	0,1	Dado que este parámetro se relaciona es con la interacción y suma de diferentes acciones o externalidades, para el caso del escenario sin Proyecto corresponde en su análisis es a identificar precisamente estas interacciones y no determinar la calificación final.
7	DEPOSE	Grado de Dependencia de la población de los servicios ecosistémicos implicados	0,07	Es un parámetro que está en concordancia con tendencia ambiental de adelantar la evaluación de manera sistémica en la relación del ser humano con el territorio
8	GINC	Grado de Incertidumbre	0,1	Obedece a la información disponible tanto primaria como secundaria que incide en la cuantificación del impacto. Desde la línea base se conoce de manera detallada cada uno de los medios; razón por la cual su ponderación es menor dado que se cuenta con información suficiente que está reflejada desde la línea base.
Índice de Afectación Neta IAN			1	

La ponderación obedece a la identificación de los parámetros que permiten analizar y evaluar las alteraciones o afectaciones significativas al ambiente, bajo el entendido de que la evaluación ambiental propuesta corresponde al método directo, el cual se relaciona con la evaluación directa de cada uno de los componentes y/o sujetos ambientales en análisis. En este sentido, es relevante la evaluación independiente por componente y/o sujeto en análisis y los parámetros propuestos son los que dan cuenta de su significancia, es por esta razón que a la

magnitud relativa, la duración y el nivel de vulnerabilidad se les otorga en conjunto el 72% en la ponderación, seguido en orden de importancia por la dependencia de la población de los servicios ecosistémicos y la perspectiva sistémica y compleja de la relación de las poblaciones con sus ecosistemas.

El resto de parámetros si bien cuentan en la calificación final, la cual permitirá adelantar la jerarquización de los componentes y/o sujetos ambientales en análisis, son elementos de análisis relevantes para comprender la tendencia del medio en el escenario sin Proyecto.

Con el fin de entender el enfoque de la ponderación, a continuación se presenta de manera gráfica su explicación:



Figura 27 Enfoque de la ponderación en los indicadores

2.3.2.13 Escenario con Proyecto (Análisis del impacto)

En este escenario, se evaluó el impacto que la ejecución del proyecto Construcción de túneles cortos y ampliación de vía Bogotá - Girardot, para tercer carril en ambos sentidos (desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000) puede generar sobre el sujeto y/o componente del ambiente en análisis. Por principio de precaución, para este escenario se evalúa la condición más crítica del impacto según sea el caso para cada impacto. Una vez identificadas las condiciones actuales y las tendencias de cada uno de los medios, sus componentes y/o sujetos, estos son cruzados con la relación de las actividades del Proyecto y con los impactos identificados a través de las matrices de: Relación de las actividades del Proyecto con los componentes del medio ambiente potencialmente afectados y relación de las actividades del Proyecto con los impactos identificados.

La metodología utilizada define para el caso del escenario con Proyecto un índice conformado por 15 parámetros o indicadores claves que determinan el comportamiento y la capacidad de afectación de los impactos sobre el entorno natural y social y, de manera específica, sobre los elementos y sujetos afectados.

Para este escenario de análisis con Proyecto el índice se denominó Índice de Afectación Neta del Impacto, IANE, pues se espera en este escenario tener en cuenta la influencia de los impactos acumulativos. Los valores del índice varían entre cero (0) y cinco (5) puntos siendo cero el valor mínimo y cinco el valor máximo de afectación neta del impacto, calificación total o de síntesis que indica la importancia del impacto y que permite

su clasificación y jerarquización entre las categorías “Muy significativos”, “Significativos”, “Medianamente Significativos” y “Poco Significativos” con el fin de priorizar y direccionar la planeación de las medidas de manejo las cuales incluyen, desde luego, todos los impactos.

El Índice de Afectación Neta expresa una suma ponderada de los indicadores o parámetros que se utilizan en la medición con el fin obtener una calificación total o de síntesis que indique la importancia del impacto y que permita su clasificación y jerarquización entre las categorías “Muy significativos”, “Significativos” “moderadamente significativos” y “Poco Significativos” con el fin de priorizar y direccionar la planeación de las medidas de manejo, las cuales incluyen, desde luego, todos los impactos. Los parámetros definidos se evalúan y califican por medio de los criterios escalares y rangos de valores presentados atrás. A cada parámetro se le da una ponderación específica y la sumatoria de este valor ponderado establece el Índice de Afectación Neta del impacto, cuyos valores varían entre cero (0) y cinco (5) puntos siendo cero el valor mínimo y cinco el valor máximo de afectación neta del impacto.

Tabla 39 Coeficientes de Ponderación del Índice de Afectación Neta del Impacto (IANE) en el escenario con Proyecto

Ítem	Notación del Parámetro	Nombre del parámetro	Coeficientes de ponderación	Explicación de la ponderación
1	PO	Probabilidad de Ocurrencia	0,05	Si bien independiente del rango, la totalidad de impactos cuentan con su medida, este parámetro ofrece elementos para estimar la certidumbre y confianza del impacto.
2	CR	Carácter		Con el fin de realizar la evaluación ambiental de manera integral, el carácter positivo o negativo ofrece una ponderación importante pero no determinante en la estimación del IANE.
3	MR	Magnitud Relativa	0,18	La decisión de ponderar los parámetros descritos se relaciona con los aspectos que mejor permiten el dimensionamiento del impacto tanto en términos de cantidad (magnitud) como en términos calidad ¹¹ (grado de perturbación, resistencia y asimilación de los efectos con relación a la calidad del elemento afectado –vulnerabilidad). De igual modo los parámetros ponderados son los que muestran alta relevancia en términos de las dimensiones de espacio (cobertura) y tiempo (duración) del impacto identificado.
4	DU	Duración	0,15	
5	NV	Nivel de Vulnerabilidad	0,22	
6	RESILE	Resiliencia o Adaptabilidad	0,01	Si bien se entiende como la capacidad para absorber perturbaciones, en el escenario con Proyecto la medida de manejo se plantea para coadyuvar en esta asimilación.
7	SINE	Sinergia	0,10	Este parámetro obedece a la interacción de los impactos y su incidencia para cada uno de los medios. La interacción de los impactos permite la evaluación en forma sistémica.
8	REVE	Reversibilidad	0,01	Si bien como entendimiento del impacto aporta el análisis, en todo caso cada impacto contempla su respectiva medida de manejo.
9	RECU	Recuperabilidad	0,05	Se relaciona de manera directa con la medida de manejo propuesta de ahí se deriva su importancia.
10	EVO	Evolución	0,01	Si bien es importante en el análisis de la evaluación, como se indicó en la introducción de la metodología la calificación y ocurrencia en procura de la sostenibilidad ambiental se realizar en el escenario crítico.
11	ACOMUL	Carácter acumulativo	0,10	Obedece al análisis acumulativo de carácter regional y territorial.
12	RES	Carácter residual	0,01	De manera genérica y como principio, medidas de manejo compensatorias o adicionales no se contemplan como un peso importante, por cuanto se asume que el PMA debe manejar de manera adecuada los impactos.
13	DEPOSE	Grado de dependencia de la población de los servicios ecosistémicos	0,03	Se relaciona con la perspectiva ecosistémica y holística que ofrece la evaluación ambiental

¹¹ Lo cualitativo es aquello que expresa la cualidad o la calidad de una cosa o un fenómeno. Lo cualitativo tiene que ver con las propiedades de un objeto, un individuo o una entidad. Lo cualitativo se refiere a la calidad, mientras que lo cuantitativo se refiere a las cantidades. La calidad es una propiedad que existe en cualquier objeto, individuo, entidad o estado que se puede analizar comparándolo con otro semejante o similar. Así, lo cualitativo depende de la percepción social, cultural o subjetiva del objeto y, a diferencia de lo cuantitativo, es mucho más difícil de precisar con especificidad en distintos medios y según diversas perspectivas individuales.

Ítem	Notación del Parámetro	Nombre del parámetro	Coefficientes de ponderación	Explicación de la ponderación
14	DEPROSE	Grado de dependencia del Proyecto de los servicios ecosistémicos implicados	0,01	Se encuentra en la segunda escala de significancia, dada la incertidumbre relacionada con la predicción del comportamiento del impacto y en este sentido las medidas de manejo y de seguimiento y monitoreo deben dar respuesta a estas condiciones.
15	GINC	Grado de incertidumbre	0,07	
Índice de Afectación Neta del Impacto - IANE			1	

Con el fin de entender el enfoque de la ponderación, a continuación se presenta de manera gráfica su explicación:

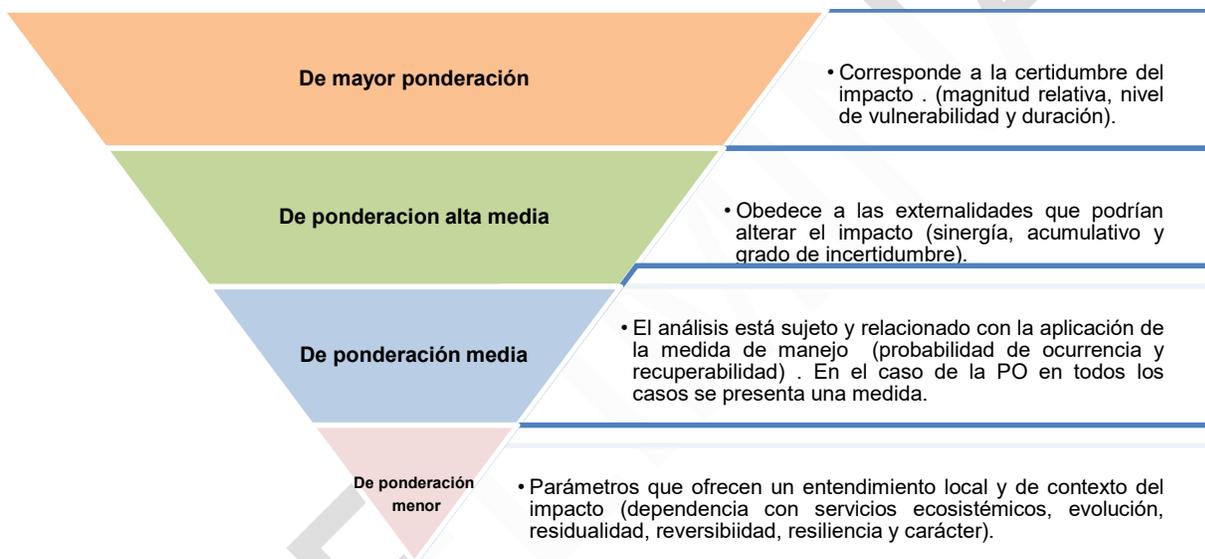


Figura 28 Enfoque de la ponderación metodología de impactos

Para el caso del parámetro de residualidad, si bien está sujeto a la aplicación de la medida de manejo dado que se aborda como el impacto que requiere medidas de compensación complementarias, en el EIA por principio se consideró que las medidas son suficientes y completas para el manejo de cada uno de los impactos.

El IANE se consolida en la siguiente tabla, a la cual se da también una notación de color:

Valor del Índice Neto de Afectación del Impacto	Calificación Neta de la afectación del impacto
4,0 – 5,0	Muy Significativo
3,0 – 3,9	Significativo
2,0 – 2,9	Moderadamente Significativo
0 – 1,9	Poco Significativo



2.3.6 Zonificación de manejo ambiental del proyecto

A partir de la zonificación ambiental del área de influencia y su equivalencias de categorías o atributos (potencial alto, potencial medio, potencial bajo, sensibilidad baja, sensibilidad media, sensibilidad alta y frágil) y teniendo en cuenta la evaluación de impactos realizada, se determinó la zonificación de manejo ambiental para las diferentes actividades del proyecto que sean aplicables, atendiendo la siguiente clasificación: Áreas de Exclusión, Áreas de Intervención con Restricciones y Áreas de Intervención, mediante la superposición de planos de la zonificación ambiental y del solapamiento de atributos, obteniendo así la zonificación de manejo ambiental para cada uno de los componentes.

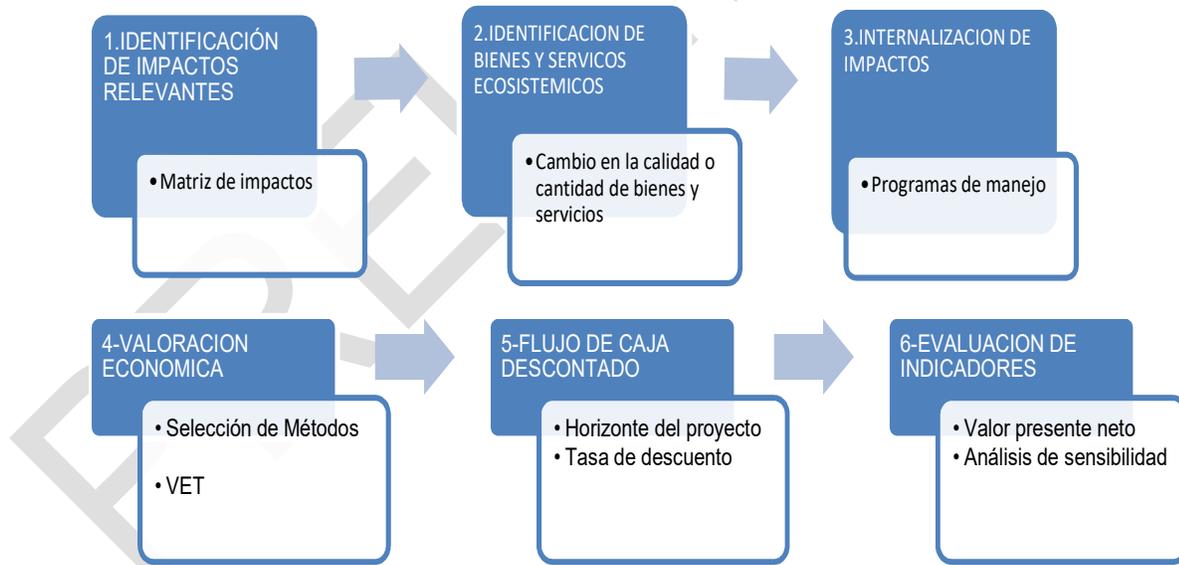
2.3.7 Evaluación económica en el proceso de evaluación de impacto ambiental

La metodología para la presentación de estudios ambientales, adoptada en el ordenamiento jurídico a través de la Resolución 1503 del 04 de agosto de 2010, del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), ratificado en la expedición del Decreto 2041 del 15 de octubre de 2014 (compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015), incorporó la valoración económica de impactos ambientales como uno de los más valiosos instrumentos para la evaluación ambiental de megaproyectos en Colombia.

Dicha evaluación adquiere relevancia, en la medida que articula los impactos ambientales con el concepto económico que permite estimar y analizar los costos derivados de los efectos causados discriminando aquellos que no logran ser internalizados mediante la incorporación de las medidas de plan del manejo, de forma que se logre cuantificar desde una perspectiva que supere el concepto netamente financiero.

Para el caso especial del Estudio de Impacto Ambiental para este Proyecto vial, se efectuó la Evaluación Económica Ambiental de acuerdo con los Términos de Referencia, y siguiendo el desarrollo metodológico propuesto en el flujograma descrito en la Figura 29.

Figura 29 Metodología Evaluación Económica De Impactos Ambientales



Fuente: INGETEC.

- Identificación de Impactos relevantes

El criterio para la identificación de impactos relevantes, obedece a los impactos que se prevean afecten en mayor consideración los bienes y servicios ecosistémicos presentes en el área del proyecto.

- Identificación de bienes y servicios ecosistémicos

Identificados los impactos ambientales relevantes deben mirarse las afectaciones negativas y positivas sobre los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas del área del proyecto. Se establecieron los valores de uso y no uso asociados a los bienes y servicios ecosistémicos, lo mismo que su afectación sobre el componente de bienestar de los habitantes.

- Valoración Económica de Externalidades

Las externalidades encontradas, proceden a valorarse de acuerdo a los métodos señalados en la Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales presentada en el año 2010 por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y descritas a fondo en el Manual Técnico para la Evaluación Económica de Impactos Ambientales en proyectos sujetos a Licenciamiento Ambiental publicado por el CEDE y el MAVDS, teniendo en cuenta los lineamientos particulares establecidos a través de los términos de referencia aplicables al proyecto.

- Elaborar Flujo de Caja descontado

El valor de las externalidades se llevó al flujo de caja proyectado, de acuerdo a la vida útil del proyecto y la permanencia de las afectaciones en el tiempo. Se utilizó la tasa de oportunidad propuesta por Correa (2008) para el descuento de los flujos económicos.

- Evaluación de indicadores y análisis de sensibilidad

Mediante el indicador relación beneficio costo se determinó si los beneficios ambientales son mayores que los costos, y se acepta el proyecto al generar ganancias en bienestar social

2.3.8 Planes y programas

2.3.8.1 Plan de Manejo Ambiental

Las medidas de manejo ambiental identificadas se formularon en fichas, estructuradas en programas y subprogramas con el objeto de dar línea al control integral de los impactos ambientales, que contienen: objetivos, impactos a controlar, cobertura espacial, actividades, instrumentos e indicadores de seguimiento y monitoreo, responsable de la ejecución, cronograma y costos.

Estas medidas de manejo corresponden a los impactos identificados y las dimensiones afectadas, tomando en cuenta si ameritan técnicamente ser incluidas las recomendaciones que las comunidades, autoridades y/o propietarios hayan manifestado en los diferentes espacios de participación. Los programas de manejo han sido formulados de manera que un programa específico puede atender un componente o grupo de componentes de un determinado medio o igualmente un mismo programa puede aplicar para prevenir, mitigar, corregir o compensar un impacto que afecta varios medios.

2.3.8.2 Plan de Seguimiento y monitoreo

Se formularon los planes de seguimiento y monitoreo a los planes y programas formulados en el PMA, que permiten verificar la validez y confiabilidad de los mismos considerando los siguientes aspectos:

Condiciones ambientales iniciales del área de influencia y cumplimiento de las normas ambientales, componentes a monitorear, especificando sitios de muestreos, parámetro a medir, frecuencia y número de muestras.

Se realizó con base en la caracterización ambiental de los componentes de cada medio, con el análisis de los impactos identificados y de acuerdo a lo dispuesto en la normativa ambiental de cada medio, se definió un sistema de indicadores que permitan monitorear los componentes ambientales identificados e identificando la calidad del medio y su tendencia como consecuencia del proyecto.

Así mismo, se formuló el seguimiento a la tendencia del medio, a través de 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.

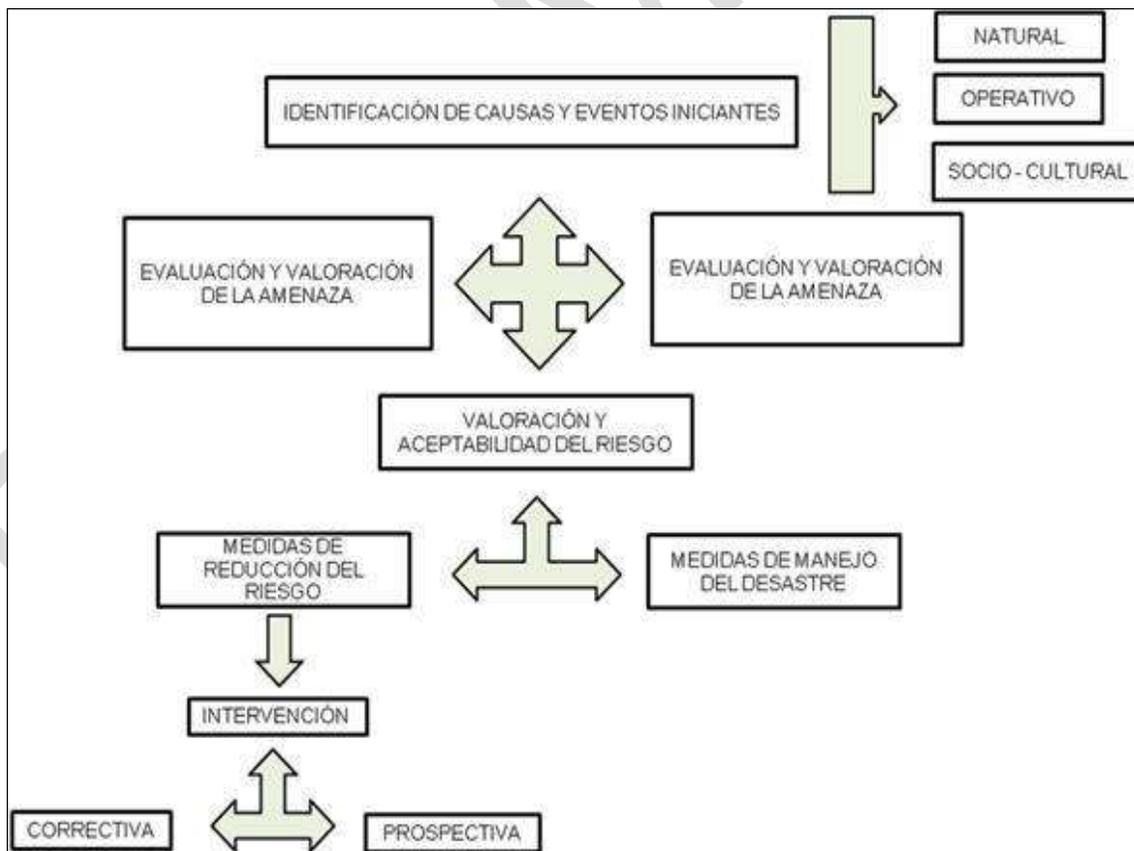
2.3.8.3 Plan de gestión del riesgo

Se realizó con base en la descripción del proyecto y la caracterización ambiental del área de estudio y lo definido en Ley 1523 de 2015, se definió la cobertura geográfica y áreas del proyecto que pueden ser afectadas por una emergencia.

2.3.8.3.1 Conocimiento del riesgo

A través del proceso de conocimiento del riesgo y a partir de la información recopilada para la elaboración de la línea base ambiental y la información secundaria, se identificaron, se evaluaron y se analizaron las condiciones de riesgo en cada zona de trabajo a través de sus principales factores (amenaza, elementos expuestos vulnerabilidad), sus causas y sus actores causales. Incluye el monitoreo de estos factores, así como la comunicación del riesgo, identificación y determinación de la probabilidad de ocurrencia y/o presencia de una amenaza. El esquema mostrado a continuación ilustra el procedimiento por el cual se llevó a cabo el proceso de conocimiento del riesgo (Ver Figura 30).

Figura 30 Actividades para el conocimiento del riesgo

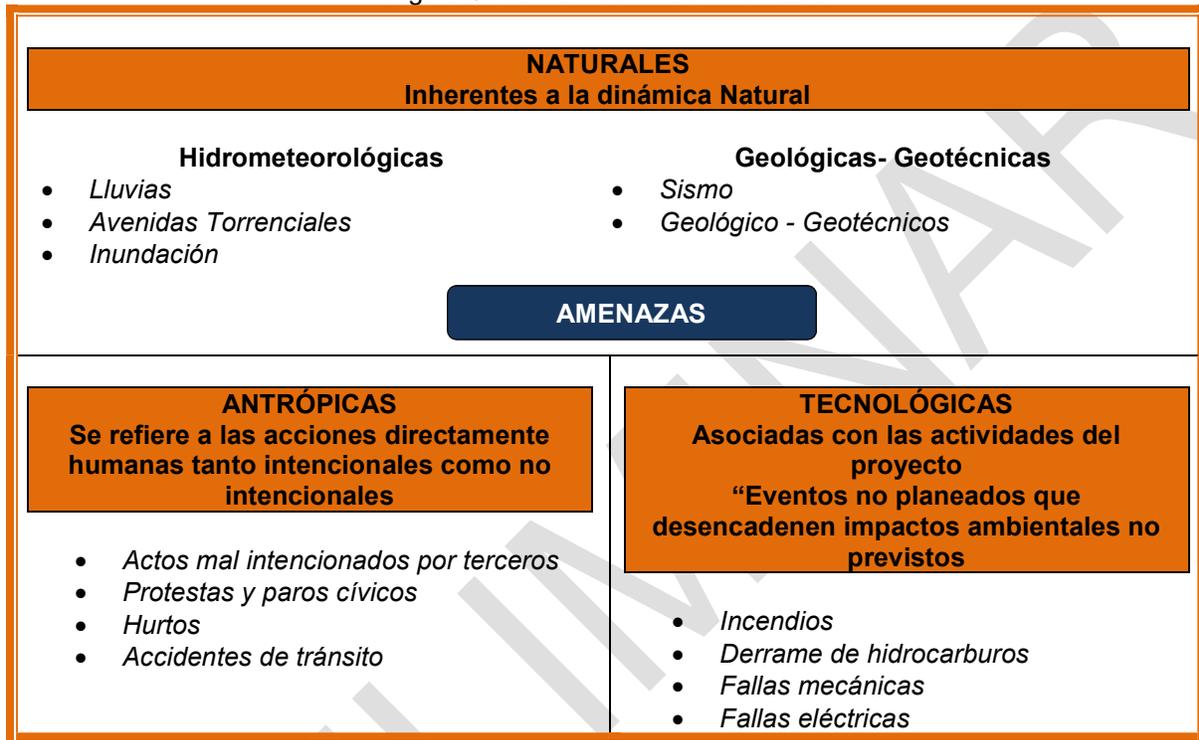


Fuente: INGETEC.

- Análisis de Amenaza

El análisis de amenazas se inicia realizando una identificación de las mismas y clasificándolas como endógenas o exógenas según correspondan, para ello se realizó un análisis preliminar presentado en la Figura 31.

Figura 31 Identificación de amenazas



Fuente: INGETEC.

Para enfocar el análisis de riesgo se reunió, información disponible sobre las amenazas y la cronología de los desastres ocurridos en el pasado, esta información se puede obtuvo de fuentes oficiales e institucionales, incluyendo observaciones de campo, revisión de información científica disponible y de la memoria histórica de la comunidad y de los demás actores del territorio.

Para determinar la probabilidad de la amenaza se tuvo en cuenta los eventos históricos a nivel regional y la recurrencia de los mismos y se valoraron de acuerdo a la escala planteada en la Tabla 40.

Tabla 40 Escala de frecuencia e intensidad

Valor		1	2	3
Calificación		Bajo	Medio	Alto
Descripción	Frecuencia	Evento que se presenta al menos una vez en un período de tiempo entre 5 a 20 años	Evento que se presenta por lo menos una vez en un período de tiempo entre 3 y 5 años.	Evento que se presenta más de una vez en el año o por lo menos una vez en un periodo de uno a tres años

Valor	1	2	3
Calificación	Bajo	Medio	Alto
Intensidad	Sin personas fallecidas, muy pocas personas lesionadas de mínima gravedad, mínima afectación en el territorio, sin afectación en las redes de servicios públicos, no hay interrupción en las actividades económicas, sin afectación en infraestructura departamental, no hay destrucción de viviendas, ni viviendas averiadas.	Pocas personas fallecidas, varias personas lesionadas de mínima gravedad, afectación moderada del territorio, afectación moderada de los recursos naturales, afectaciones en las redes de servicios públicos, suspensión temporal de actividades económicas, afectación moderada en la infraestructura departamental, pocas viviendas destruidas y varias viviendas averiadas.	Numerosas personas fallecidas, gran cantidad de personas lesionadas, afectación de grandes extensiones del territorio, afectaciones graves en los recursos naturales, suspensión de servicios públicos básicos y de actividades económicas durante varios meses, pérdidas económicas considerables, graves afectaciones en la infraestructura departamental y un gran número de viviendas destruidas.

Fuente: Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo. 2012

- Análisis de vulnerabilidad de los elementos en riesgo

Busca determinar el grado de debilidad y/o exposición frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico. Es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad (proyecto) de ser afectada o sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente (Ley 1523 de 2012).

Para el análisis de la vulnerabilidad se realizó la identificación y caracterización de los elementos que se encontrarán expuestos en el proyecto y los efectos desfavorables de una amenaza. Para esto, se hace necesario combinar información estadística y científica con los saberes existentes en la sociedad y los demás actores presentes en el territorio.

No todos los sistemas son sensibles a todos los tipos de consecuencias, o si lo son, su vulnerabilidad puede ser mayor respecto a alguna de ellas. Con el fin de definir esos tipos de consecuencia (vulnerabilidad), se tomó la zonificación ambiental realizada como referencia principal, partiendo de las condiciones ambientales y sociales actuales del área de influencia, se da una calificación respecto a cada riesgo indicando su afectación.

Figura 32 Tipo de vulnerabilidad según el riesgo identificado



Fuente: INGETEC.

Una vez se obtiene el panorama de la vulnerabilidad, esto permitirá definir las medidas más apropiadas y efectivas para reducir el riesgo.

Los posibles tipos de consecuencia sobre los elementos expuestos se denominan "Factores de Vulnerabilidad", e incluyen factores Sociales, Económicos, Ambientales, Operacionales.

Figura 33 Esquema Vulnerabilidad



Fuente: INGETEC.

- Física: estimación de daños posibles en los componentes de la infraestructura debido a tres criterios; a) su nivel de exposición a las amenazas debido a su ubicación, b) la calidad de su construcción y de los materiales utilizados, y c) el potencial de daño que podría esperarse de ser afectado por un desastre.

A continuación en la Tabla 41 se presenta la escala para calificación de la vulnerabilidad física para el proyecto teniendo en cuenta su enfoque desde el diseño del mismo.

Tabla 41 Vulnerabilidad Física

Variable	Valor de la Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Cumplimiento de la normatividad vigente	Cumple con las normas nacionales y/o internacionales	Cumple parcialmente con las normas nacionales y/o internacionales	No cumple con las normas nacionales y/o internacionales
Características geológicas y tipo de suelo	Zonas que no presentan problemas de estabilidad, con buena cobertura vegetal	Zonas con indicios de inestabilidad y con poca cobertura vegetal	Zonas con problemas de estabilidad evidentes, llenos antrópicos y sin cobertura vegetal
Localización de las edificaciones con respecto a zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas	Muy alejada	Medianamente cerca	Muy cercana

- Social: análisis que permite determinar la capacidad institucional y empresarial o administrativa de la comunidad, asociada a organización, experiencia y recursos en general. La organización de la empresa o institución es muchas veces el elemento más vulnerable al impacto de las amenazas, dada la poca

preparación y capacitación existente para atender situaciones de emergencia. Para calificar la vulnerabilidad social, se utilizarán los valores mostrados en la Tabla 42.

Tabla 42 Vulnerabilidad social

Variable	Valor de la Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Nivel de organización	Población organizada	Población medianamente organizada.	Población sin ningún tipo de organización.
Participación	Participación total de la población.	Escasa participación de la de la población.	Nula participación de la población.
Grado esperado de relación entre las organizaciones comunitarias y el proyecto	Fuerte relación entre las organizaciones comunitarias y el proyecto.	Relaciones débiles entre las organizaciones comunitarias y el proyecto	No existen relaciones entre organizaciones comunitarias y el proyecto
Conocimiento comunitario del riesgo	La población tiene total conocimiento de los riesgos presentes en el territorio y asume su compromiso frente al tema.	La población tiene poco conocimiento de los riesgos presentes y no tiene un compromiso directo frente al tema.	Sin ningún tipo de interés por el tema.

Ambiental: datos sobre la microcuenca, índice de calidad del agua, índice de calidad de un ecosistema acuático, presencia de fauna y flora de interés relevante, entre otros. Para calificar la vulnerabilidad ambiental, se utilizarán los valores mostrados en la Tabla 43

- Tabla 43.

Tabla 43 Vulnerabilidad Ambiental

Variable	Valor de la Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Calidad del agua superficial	Descargas con afectación muy leve, sin modificaciones en la calidad del agua y se establecen medidas preventivas.	Descargas con contaminación), sin embargo el impacto es reversible, es decir, las alteraciones pueden ser asimiladas por el entorno de forma medible si se toman medidas correctivas inmediatamente.	Descargas al cuerpo hídrico generando contaminación ambiental irrecuperable en un área extensa impidiendo su uso aguas abajo del vertimiento.
Condiciones de los recursos ambientales	No hay afectación a la fauna y flora del AI. Presenta fauna y flora sin interés relevante	Afectación parcial a las de flora y fauna presentes en el AI.	Afectación representativa de la flora y fauna presente en el AI. Entre las cuales se encuentran; Especies nativas, especies protegidas y elementos singulares.

El riesgo sólo puede existir al presentarse una amenaza en determinadas condiciones de vulnerabilidad, en un espacio y tiempo específico. No puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa. De hecho, amenazas y vulnerabilidades son mutuamente condicionadas, por lo tanto, al aumentar la resiliencia, el proyecto reducirá sus condiciones de vulnerabilidad y su nivel de riesgo.

- Identificación, priorización y caracterización de escenarios de riesgo

Se consideran como factores de riesgo la amenaza y la vulnerabilidad. Para que suceda un evento que pueda producir un desastre debe haber una amenaza, que es un fenómeno de origen natural, socio natural, antrópico no intencional y tecnológico que cause daño en un momento y lugar determinado, y condiciones desfavorables en una comunidad, las cuales se denominan vulnerabilidades.

- Análisis del riesgo

El análisis de riesgo consistió en identificar y evaluar probables daños y pérdidas como consecuencia del impacto de una amenaza sobre una unidad social y/o ambiental en condiciones vulnerables. En la Figura 34 se muestra el proceso de análisis de riesgo que se utilizará para definir la valoración de los riesgos del proyecto.

Figura 34 Proceso del análisis de riesgo



Fuente: INGETEC

- Calculo del Riesgo

Una vez identificadas las amenazas (A) a las que está expuesto el proyecto y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procedió a una evaluación conjunta para calcular el riesgo, es decir, estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural, antrópico y tecnológico. El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia de la amenaza identificada, es decir, la fuerza e intensidad de ocurrencia, así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (Infraestructura, elementos ambientales y sociales) dentro del área de influencia directa y/o indirecta.

El criterio descriptivo se basó en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Amenaza y Vulnerabilidad” F Para tal efecto, se requiere que previamente se hayan realizado los análisis de amenazas y las consecuencias de vulnerabilidad, respectivamente. Con ambos resultados se interrelaciona, por un lado (vertical) el valor y nivel estimado de la amenaza; y por otro (horizontal), en la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado. (Véase Tabla 44)

Tabla 44 Mapa de Riesgos

Amenaza	Alta (3)	3	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
			3	6	9
	Media (2)	2	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
			2	4	6
	Baja (1)	1	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio
			1	2	3
			Baja (1)	Media (2)	Alta (3)
			Vulnerabilidad		

Fuente: INGETEC

Por consiguiente, se registró la calificación del riesgo inicialmente en una matriz donde se identifique visualmente los escenarios y su respectivo valor asociado al nivel del riesgo con el fin de priorizarlos.

Para determinar la importancia de la calificación de los riesgos realizada, se utilizó el mapa de riesgos y se define los siguientes criterios de aceptabilidad en la Tabla 45: como Intolerable, Importante, Tolerable, o Aceptable.

Tabla 45 Categorías de aceptabilidad del riesgo.

ACEPTABILIDAD DEL RIESGO	
RIESGO BAJO	Significa que el riesgo se encuentra en un nivel en el que el proyecto puede asumir sin mayores complejidades para el desarrollo del mismo, se pueden tomar acciones de Control para mejorarlo siempre y cuando ello no implique gastos adicionales a los ya definidos para el proyecto. Revisa los controles existentes y define si es posible optimizarlos.
RIESGO MEDIO	Puede representar un alto impacto en el proyecto y/o al medio, se deben tomar medidas adicionales de control y refinar los controles que sean pertinentes. Implica definir recursos adicionales a los ordinariamente presupuestados.
RIESGO ALTO	Significa puede impactar de manera grave el proyecto; bajo ninguna circunstancia se deberá mantener un escenario con esa capacidad potencial de afectar la estabilidad de la Operación del proyecto, la comunidad aledaña y/o las condiciones ambientales. Por ello estos escenarios requieren una atención de "Alta Prioridad" e inversión para disminuir a corto plazo su impacto.

Una vez valorado los escenarios de riesgo se priorizan con el fin de establecer las líneas de acción pertinentes.

2.3.8.3.2 Reducción del riesgo

Una vez identificado, cuantificado y priorizado los riesgos, se procedió al desarrollo de las medidas para intervenir las condiciones actuales de riesgo (intervención correctiva) y futuras (intervención prospectiva). Estas medidas son de tipo físico (medidas estructurales) y no físico (medidas no estructurales) que se adoptarán con antelación para reducir la amenaza, y minimizar la vulnerabilidad.

La capacidad de respuesta del proyecto se evaluó mediante simulacros que serán planteados y desarrollados de acuerdo a un cronograma.

2.3.8.3.3 Manejo de la contingencia

Este proceso corresponde al proceso de Gestión del Riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación postdesastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase rehabilitación y recuperación.

Las medidas propuestas implementadas consideraron los siguientes elementos:

- Preparación para la Respuesta.
- Preparación para la Recuperación Postdesastre.
- Ejecución de la Respuesta y la Respectiva Recuperación.

Este plan de manejo de la contingencia se articula con los planes de contingencia locales, departamentales y regionales y se incluirá la información actualizada sobre la capacidad de respuesta de las entidades de atención de emergencias en la región.

Se realizó la cartografía de los eventos amenazantes, elementos vulnerables, las áreas de riesgo identificadas y los elementos e infraestructura con la localización de los equipos necesarios para dar respuesta a las contingencias que se puedan presentar en el proyecto.

2.3.8.4 Plan de desmantelamiento y abandono

Para las áreas de infraestructura intervenidas de manera directa por el proyecto, se presentan las actividades de desmantelamiento y restauración de las obras temporales, en armonía con el medio circundante, señalando las medidas de manejo y reconfiguración morfológica que garanticen la estabilidad y restablecimiento de la cobertura vegetal y la reconfiguración paisajística, según aplique. Así mismo, se acompaña de una estrategia de información a las comunidades y autoridades ambientales acerca del cierre de construcción del proyecto.

2.3.9 Otros planes y programas

2.3.8.5 Plan de inversión del 1%

De acuerdo a lo estipulado en el decreto 2099 del 2016, se formula un plan de inversión del 1% por la captación de aguas para el desarrollo del proyecto.

Dicha propuesta contiene la siguiente información:

- Título
- Objetivos del Plan de inversión del 1%.
- Alcance de las acciones a desarrollar, y su justificación de acuerdo con la caracterización de las áreas de influencia por componente.
- Metodología.
- Localización tentativa del área donde se planea realizar la inversión, dentro de la cuenca de la cual se hace uso del recurso, incluyendo el respectivo mapa a una escala adecuada.
- Definir de forma específica las obras o actividades que se van a ejecutar a fin de determinar su viabilidad, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2099/2016, o aquel que lo modifique o sustituya.
- Presentar el monto de inversión del 1% estimado en pesos, de acuerdo a los ítems del Decreto 2099 de 2016 o la norma que lo modifique o sustituya, y discriminando los costos para cada una de las actividades del proyecto que se contemplan en el cálculo de dicho monto.
- Cronograma de ejecución de las actividades a realizar.
- Presupuesto para el desarrollo de cada una de las actividades seleccionadas.

2.3.8.6 Plan de compensación por pérdida de biodiversidad

Teniendo en cuenta lo establecido en el Manual para la Asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (adoptado mediante Resolución 1517 de agosto de 2012 o aquella norma que la modifique o sustituya), se deberá presentar un Plan de compensación por pérdida de biodiversidad que contemple como mínimo los siguientes aspectos:

- Línea base ambiental del área impactada y evaluación de los impactos residuales significativos, identificando los ecosistemas que serán objeto de afectación por las obras o actividades que están relacionadas con la construcción del proyecto.
- Cálculo del área a afectar por cada uno de los anteriores ecosistemas, identificando su rareza representatividad en el Sistema Nacional de áreas Protegidas (SINAP), y remanencia y potencial de pérdida de contexto nacional, según lo establecido en el listado nacional de factores de compensación.
- Presentación de una tabla resumen donde se identifique: ecosistema a afectar, área de afectación, infraestructura que afecta el ecosistema, factor de compensación para ese ecosistema y el área total a compensar.
- Descripción de las áreas ecológicamente equivalentes para compensación.

- Propuesta de las acciones de compensación, los resultados esperados, el cronograma de implementación y el plan de inversiones (en áreas protegidas, públicas o en predios privados).
- Evaluación de los potenciales riesgos de implementación del plan de compensación y una propuesta para minimizarlos.
- Definición del mecanismo de implementación y administración.
- Plan de monitoreo y seguimiento.

2.3.10 Trabajos de campo medios abiótico, biótico y socioeconómico.

A nivel general se realizaron diferentes actividades de campo para la recolección de información primaria a través de visitas que realizaron los profesionales de las diferentes disciplinas al área de estudio y en la cual se identificaron y verificaron los diferentes componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.

Los trabajos de campo asociados a la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para este proyecto se encuentran relacionados a continuación.

Tabla 46 Relación de los trabajos de campo para la elaboración del EIA

ACTIVIDAD	FECHAS DE EJECUCIÓN
Inventario de puntos de agua y campaña de investigaciones geotécnicas.	Junio 15 de 2017 - Agosto 11 de 2017
Hidrogeología e hidrodinámica, reconocimiento de las condiciones hidrológicas del área de estudio	Mayo 18 de 2017 - Septiembre 9 de 2017
Suelos: Caracterización de suelos del área de influencia, reconocimiento y toma de muestras de suelo	Julio 26 de 2017 - Agosto 18 de 2017
Caracterización fisicoquímica, bacteriológica e hidrobiológica de calidad de agua superficial y sedimentos	Julio 31 de 2017 - Septiembre 4 de 2017
Aforos y Batimetrías fuentes de aguas superficiales	Julio 26 de 2017 - Agosto 4 de 2017
Monitoreos de aguas subterráneas	Julio 31 de 2017 - Septiembre 4 de 2017
Caracterización de calidad de aire y ruido	Julio 28 de 2017 - Septiembre 7 de 2017
Caracterización de Fauna	Julio 11 de 2017- Julio 26 de 2017
Inventario forestal	Julio 11 de 2017- Julio 26 de 2017
Levantamiento de veda	Julio 11 de 2017- Julio 26 de 2017
Caracterización social, reconocimiento de campo y reunión con líderes para caracterizar	Julio 17 de 2017 - Julio 21 de 2017
Prospección arqueológica	Junio 2 de 2017 - Septiembre 15 de 2017
Primera socialización	Agosto de 2017
Segunda socialización	Septiembre de 2017

Por otro lado a partir de la información suministrada por el consorcio Ruta 40 y la información primaria levantada durante las actividades de campo adelantadas, se detalló la localización del Proyecto, sus características, la infraestructura existente, se delimitó el área de influencia de acuerdo con los impactos que se podrían generar con las actividades del proyecto sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, en cada uno de los componentes de estos medios; resultado de los análisis, se definieron los polígonos de cada uno de los medios. El proceso propuesto garantizará que las áreas presentadas a la autoridad ambiental estén incluidas por impactos específicos y estos a su vez cuentan con medidas de manejo adecuadas, eficientes y acordes con el contexto.

2.4 EQUIPO PROFESIONAL PARTICIPANTE

INGETEC cuenta con más de 30 años de experiencia en el desarrollo de Estudios Ambientales, socioeconómicos y proyectos de Ingeniería Ambiental, lo que ha permitido ser partícipe de la temática ambiental colombiana y de países latinoamericanos. Desde el inicio de labores en temas ambientales, INGETEC se ha especializado en el conocimiento de la legislación colombiana y en el desarrollo y especialización de los diferentes aspectos socio ambientales, acumulando una amplia experiencia y conocimiento.

En la Tabla 47 se relaciona el personal profesional por parte de INGETEC que participará en cada una de las especialidades del presente Estudio de Impacto Ambiental.

Tabla 47 Equipo de profesionales participantes en la elaboración del EIA

Profesional	Especialidad	Experiencia Relacionada (Años)	Temática
1. Dirección y Coordinación.			
Andrés Marulanda	Dirección	12	Director del estudio
José Alejandro Buendía	Gerencia y Control	11	Coordinador Técnico del Estudio de Impacto Ambiental
Vianny Ortiz	Especialista en Gerencia Ambiental	10	Coordinador Ambiental del Estudio de Impacto Ambiental
José Mauricio Carrillo	Recursos Hídricos, Salud Ocupacional, Seguridad y Gestión de Riesgos, Gestión Ambiental, Auditor Interno de Sistemas HSEQ, Sistemas Integrados de Gestión	9	Coordinación seguridad y salud en el trabajo
2. Resumen Ejecutivo, Objetivos, Generalidades, Antecedentes, Metodología.			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Generalidades del Estudio
Karen Rodríguez	Ing. Ambiental - componente físico	8	
3. Descripción del Proyecto.			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Elaboración de la descripción del proyecto para el EIA
4. Área de influencia.			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Definición de las áreas de influencia de los diferentes componentes.
Carlos Díaz	Biólogo, Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	
Elvia Victoria Pico Niño	Comunicadora Social, especialista en planificación del desarrollo regional, Magister en estudios interdisciplinarios del desarrollo Coordinadora Componente Social.	13	
5. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA			
5.1 Medio Abiótico			
Componente Geosférico (Geología, Geomorfología, Hidrogeología).			
Leticia Jiménez	Geóloga, Especialista en derecho minero y energético	14	Descripción y análisis de los componentes esféricos.

Profesional	Especialidad	Experiencia Relacionada (Años)	Temática
Claudia Yaneth Vargas Jerez	Geóloga, Especialista SIG	6	
Alexander Hassidoff	Recursos Hídricos	19	
Suelos y paisaje.			
Jaime Adrián Rodríguez	Ingeniero Agrónomo, Especialista en Geomática.	9	Descripción y análisis del componente suelo
Hidrología y Meteorología			
Miguel Jara	Hidrología	21	Análisis hidrológico
Omar Ali Vargas Vargas	Hidráulica y Medio Ambiente	20	
Calidad de agua, usos del agua, aire y ruido.			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Descripción de la línea base de calidad de agua, usos, aire y ruido.
Karen Rodríguez	Ing. Ambiental - componente físico	8	
Camila Ibagué	Ing. Ambiental - modelación de calidad de Aire	2	
Alejandra Navas	Ing. Ambiental - modelación de calidad de Agua para permiso de vertimientos	2	
Generación de productos SIG.			
María Elena Suárez Navarrete	Ingeniero Agrícola , Especialista SIG	16	Elaboración de la cartografía del Estudio
Medio Biótico			
Carlos Díaz	Biólogo , Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	Levantamiento de la información en campo y descripción de la Línea base medio biótico
Diana Milena Castillo	Ingeniera Forestal	2	
Adriana Pico	Bióloga, Especialista en fisiología y taxonomía de plantas.	10	
Leidy Aguacia	Bióloga, Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales	3	
Juan David García	Profesión Biólogo, Especialista en Planificación Territorial y Gestión Ambiental. – Especialista Peces	2	
Medio Social.			
Elvia Victoria Pico Niño	Comunicadora Social, especialista en planificación del desarrollo regional, Magister en estudios interdisciplinarios del desarrollo Coordinadora Componente Social.	13	Descripción de los componentes sociales de las áreas de influencia
Heilhard Morales	Especialista en Desarrollo Rural	12	
Javier Bello	Antropólogo	8	

Profesional	Especialidad	Experiencia Relacionada (Años)	Temática
Joaquín Otero	Arqueólogo	4	
6. y 9 Zonificación ambiental y de manejo Ambiental			
Carlos Díaz	Biólogo , Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	Establecimiento de los atributos para la zonificación.
Elvia Victoria Pico Niño	Comunicadora Social, especialista en planificación del desarrollo regional, Magister en estudios interdisciplinarios del desarrollo Coordinadora Componente Social.	13	
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	
7. Demandas, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Descripción de las demandas y recursos aprovechados por el proyecto.
Karen Rodríguez	Ing. Ambiental - componente físico	8	
Camila Ibagué	Ing. Ambiental - modelación de calidad de Aire	2	
Alejandra Navas	Ing. Ambiental - modelación de calidad de Agua para permiso de vertimientos	2	
8. Evaluación Ambiental			
Carlos Díaz	Biólogo , Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	Descripción y valoración de los impactos con y sin proyecto
Angélica cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	
Elvia Victoria Pico Niño	Comunicadora Social, especialista en planificación del desarrollo regional, Magister en estudios interdisciplinarios del desarrollo Coordinadora Componente Social.	13	
10. Evaluación económica Ambiental			
Ariel Paz	Ingeniero Industrial, especialista en Evaluación y Desarrollo de Proyectos	15	Evaluación económica ambiental, de acuerdo a las metodologías establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.
11. Planes y Programas			
11.1 Plan de Manejo Ambiental y 11.2 Plan de Monitoreo y Seguimiento			
Carlos Díaz	Biólogo , Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	Formulación de las medidas de manejo y monitoreo y seguimiento.
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	
Elvia Victoria Pico Niño	Comunicadora Social, especialista en planificación del desarrollo regional, Magister en estudios interdisciplinarios del desarrollo Coordinadora Componente Social.	13	

Profesional	Especialidad	Experiencia Relacionada (Años)	Temática
Karen Rodríguez	Ing. Ambiental - componente físico	8	
11.3 Plan de Gestión del Riesgo			
Natalia Jaramillo Cardona	Gestión del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático	8	Formulación del Plan de Gestión del riesgo, conocimiento del riesgo y manejo del desastre.
11.4 Plan de Abandono y Restauración Final			
Angélica Cubillos	Ing. Ambiental - Coordinadora Componente Abiótico	9	Programa de desmantelamiento, adecuación propuestas para uso final del suelo y programa de cierre del proyecto y de la gestión social
11. Plan de Compensación por pérdida de Biodiversidad			
Carlos Díaz	Biólogo , Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Coordinador Componente Biótico	21	Formulación del Plan de compensación.

ANEXOS

ANEXO A-1 Solicitud de información a autoridades ambientales
ANEXO A-2 Permiso de Investigación científica

PRELIMINAR