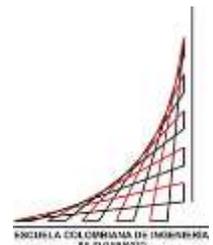


Maestría en Ingeniería Civil

**Comparación de Impactos Ambientales entre las Alternativas de
Corte - Relleno y Viaducto, para la Construcción de Carreteras:
Revisión de un Caso de Estudio.**

Luis Alejandro González Camargo

Bogotá, D.C, 26 de mayo de 2017

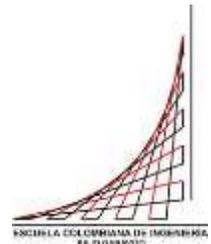


**Comparación de Impactos Ambientales entre las Alternativas de
Corte - Relleno y Viaducto, para la Construcción de Carreteras:
Revisión de un Caso de Estudio**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis
en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.**

**Ingeniera María Carolina Romero Pereira
Directora**

Bogotá, Mayo de 2017



La tesis de maestría titulada “Comparación de Impactos Ambientales entre las Alternativas de Corte - Relleno y Viaducto, para la Construcción de Carreteras: Revisión de un Caso de Estudio”, presentada por Luis Alejandro González Camargo, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

María Carolina Romero Pereira
Directora

Germán Ricardo Santos Granados
Jurado

Héctor Alfonso Rodríguez Díaz
Jurado

Bogotá, D.C, 26 de mayo de 2017

Dedicada a Sonia y Ligia.

Le agradezco principalmente a la Ingeniera María Carolina Romero Pereira, por su dedicación, paciencia y acertada dirección.

A Sonia Gutiérrez quien siempre me ha apoyado en todos mis planes.

A los diferentes equipos de trabajo a los que he pertenecido, ya que han aportado enormemente a mi experiencia y criterio profesional.

RESUMEN

En este documento se realiza una comparación entre los resultados de la evaluación de los impactos ambientales (EvlA) de dos alternativas para la construcción de carreteras, una tradicional desarrollada a través de cortes y rellenos y otra desarrollada en viaducto en la totalidad de su trazado, a partir de un caso de estudio. Esto con el fin de resaltar la necesidad de comparar diferentes alternativas constructivas, para mitigar los impactos negativos de proyectos viales sobre el medio ambiente.

Para tales efectos se describe el caso de estudio y los aspectos más relevantes de la alternativa corte – relleno, se presenta la caracterización de su área de influencia y se determina la demanda de recursos naturales de las dos alternativas.

La evaluación de la primera alternativa corresponde a la realizada por el grupo Consultor de los estudios y diseños tomados como caso de estudio. La segunda alternativa se realiza a partir de la información primaria y secundaria de dicho caso de estudio al desarrollar un esquema de viaducto (siguiendo el mismo trazado de la alternativa corte – relleno), la cual es evaluada bajo la misma metodología del caso de estudio para poder ser comparadas de manera equitativa.

En la comparación se involucra la EvlA del escenario “sin proyecto”, como línea base del mismo.

Como resultado se encontró que la alternativa en viaducto resulta ser más amigable con los medios biótico y abiótico, debido a la reducción de retiro de cobertura vegetal, tala de árboles, movimiento de tierras, cortes, utilización de materiales granulares y mezclas asfálticas.

INDICE GENERAL

Introducción.....	14
1. Descripción General del Caso de Estudio	17
1.1 Localización General.....	17
1.2 Información Disponible	18
2. Descripción de la Alternativa Constructiva Tradicional “Corte – Relleno”	20
2.1 Diseño Geométrico.....	20
2.2 Estabilidad y Estabilización de Taludes	21
2.2.1 Análisis de estabilidad de cortes.	22
2.2.2 Análisis de bloques de roca.	22
2.2.3. Taludes en terraplén.	23
2.2.4. Estructuras de Contención.....	23
2.3 Hidráulica.....	24
2.3.1. Hidráulica de obras mayores.....	25
2.4 Estructuras.....	25
2.5. Pavimentos.....	26
2.6. Zonas de Disposición de Sobrantes.....	27
3. Planteamiento de la Alternativa de Viaducto	28
3.1 Diseño Geométrico.....	28
3.2 Estabilidad y Estabilización de Taludes	31
3.3 Hidráulica	31
3.4 Estructuras	31
3.5 Pavimentos.....	32
3.6 Zonas de Disposición de Sobrantes	32
3.7 Resultados Principales de la Alternativa en Viaducto	34
4. Área de Influencia.....	35

4.1	Caracterización del Área de Influencia	37
4.1.1	Medio Abiótico.....	37
4.1.1.1	Geología.....	37
4.1.1.2	Geomorfología.....	39
4.1.1.3	Hidrología.....	39
4.1.1.4	Usos del suelo.....	40
4.1.1.5	Clima.	40
4.1.1.6	Hidrogeología.....	43
4.1.1.7	Aire.....	45
4.1.2	Medio Biótico.....	45
4.1.2.1	Fauna.	45
4.1.2.2	Flora.....	46
4.1.3	Medio Socioeconómico.....	50
4.1.3.1	Componente demográfico	50
4.1.3.2	Componente espacial.....	51
4.1.3.3	Componente social.....	51
4.1.3.4	Arqueología.	51
4.2	Zonificación Ambiental.....	53
4.2.1	Unidades de zonificación.....	53
4.2.2	Criterios de zonificación.....	53
4.2.3	Categorías de intervención.	55
4.2.3.1	Áreas de no intervención o de exclusión.....	55
4.2.3.2	Áreas de intervención con restricciones.....	55
4.2.3.3	Áreas de Intervención.	55
5.	Demanda de Recursos Naturales	58
5.1.	Alternativa Corte – Relleno	58
5.1.1.	Recurso agua	58

5.1.2.	Extracción de materiales granulares.....	59
5.1.3.	Aprovechamiento Forestal.....	60
5.1.4.	Materiales para Construcción	60
5.2.	Alternativa en Viaducto.....	60
5.2.1.	Recurso Agua.....	60
5.2.2	Extracción de materiales granulares.....	61
5.2.3	Aprovechamiento Forestal.....	62
5.2.4	Materiales para Construcción	62
6.	Evaluación de Impactos Ambientales.....	65
6.1	Metodología para la Evaluación de Impactos Ambientales	65
6.1.1	Análisis general del proyecto	66
6.1.2	Identificación de Impactos Ambientales	66
6.1.3	Valoración de impactos ambientales	67
6.2	Evaluación Sin Proyecto.....	71
6.3	Evaluación de Impactos Ambientales de la Alternativa Corte – Relleno	77
6.4	Alternativa en Viaducto.....	83
6.4.1	Identificación de impactos ambientales para la alternativa de viaducto	84
6.4.2	Valoración de impactos ambientales para la alternativa de viaducto.....	87
6.4.3	Análisis de sensibilidad.....	92
7.	Análisis de Resultados	95
7.1.	Análisis General de Escenarios.....	97
7.2.	Análisis Comparativo de Impactos Ambientales por Medio.....	99
7.3.	Discusión	103
8.	Conclusiones.....	105
9.	Recomendaciones.....	107
	Referencias	108

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. INFORMACIÓN DISPONIBLE	19
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO.	21
TABLA 3. CANTIDAD Y TIPO DE OBRAS DE DRENAJE DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO	24
TABLA 4. ESTRUCTURAS REQUERIDAS EN LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO.	26
TABLA 5. RESULTADOS PRINCIPALES DE LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO.....	27
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO	30
TABLA 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES PLANTEADAS PARA EL VIADUCTO.....	32
TABLA 8. CRITERIOS GENERALES PROPUESTOS PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL VIADUCTO.	32
TABLA 9. VOLÚMENES APROXIMADOS DE EXCAVACIÓN ALTERNATIVA EN VIADUCTO.	33
TABLA 10. RESULTADOS PRINCIPALES DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	34
TABLA 11. PRINCIPALES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CORRIENTES NATURALES.	40
TABLA 12. CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS VEGETALES	47
TABLA 13. ESPECIES DE FLORA CON ALGÚN GRADO DE AMENAZA	50
TABLA 14. CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	54
TABLA 15. RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	56
TABLA 16. VOLUMEN DE AGUA SUPERFICIAL REQUERIDA EN LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO.....	59
TABLA 17. VOLUMEN DE MATERIAL GRANULAR REQUERIDO EN LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO	59
TABLA 18. NÚMERO DE INDIVIDUOS ARBÓREOS AFECTADOS EN LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO	60
TABLA 19. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MÁS REPRESENTATIVOS EN LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO.	60
TABLA 20. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA SUPERFICIAL REQUERIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.	61
TABLA 21. VOLUMEN DE MATERIAL GRANULAR REQUERIDO EN LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	62
TABLA 22. NÚMERO DE INDIVIDUOS AFECTADOS EN LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO	62
TABLA 23. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MÁS REPRESENTATIVOS EN LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO	63
TABLA 24. COMPARACIÓN DE DEMANDA DE RECURSOS NATURALES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	63
TABLA 25. CLASIFICACIÓN POR FRECUENCIA DE GENERACIÓN DE IMPACTO (ANÁLISIS HORIZONTAL)	67
TABLA 26. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO A LA GENERACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (ANÁLISIS VERTICAL)	67
TABLA 27. CRITERIOS, ESCALAS Y RANGOS DE VALORACIÓN DE IMPACTOS	68
TABLA 28. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS NEGATIVOS SEGÚN SU IMPORTANCIA	71
TABLA 29. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS POSITIVOS SEGÚN SU IMPORTANCIA.	71
TABLA 30. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU RECURRENCIA, ESCENARIO “SIN PROYECTO”.	72
TABLA 31. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO A SUS IMPACTOS ASOCIADOS, “SIN PROYECTO”.	73
TABLA 32. IMPORTANCIA ABSOLUTA DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL ESCENARIO “SIN PROYECTO”.	74
TABLA 33. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO CON LA SIGNIFICANCIA DE LOS IMPACTOS SOBRE CADA MEDIO, EN EL ESCENARIO “SIN PROYECTO”.	76
TABLA 34. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU RECURRENCIA, DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO.....	77
TABLA 35. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO A LOS IMPACTOS ASOCIADOS DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO.....	79
TABLA 36. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO).....	80

TABLA 37. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO AL TIPO DE IMPACTO GENERADO POR MEDIO (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO).....	82
TABLA 38. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU RECURRENCIA, DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	84
TABLA 39. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO A LA RECURRENCIA DE LOS IMPACTOS GENERADOS DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.	86
TABLA 40. CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE ALTERNATIVA EN VIADUCTO)	89
TABLA 41. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO AL TIPO DE IMPACTO GENERADO POR MEDIO (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO).....	91
TABLA 42. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. DIFERENCIAS EN LA CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE ALTERNATIVA EN VIADUCTO) ..	93
TABLA 43. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. DIFERENCIAS EN LA CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ACUERDO AL TIPO DE IMPACTO GENERADO POR MEDIO (DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO).	94
TABLA 44. COMPARACIÓN ENTRE LA CLASIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA NEGATIVA DE IMPACTOS DEL ESCENARIO “SIN PROYECTO” Y LAS ALTERNATIVAS CORTE – RELLENO Y VIADUCTO.....	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL CASCO URBANO Y DE LA VÍA DEPARTAMENTAL EXISTENTE A CONECTAR MEDIANTE EL CORREDOR VIAL OBJETO DE ANÁLISIS.....	18
FIGURA 2. SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA ADOPTADA.	20
FIGURA 3. SECCIONES TRANSVERSALES TIPO DE LA ALTERNATIVA CORTE - RELLENO.....	21
FIGURA 4. MODELO TERRAPLÉN ESTÁTICO – H=8M – TALUD 2.0H:1.0V	23
FIGURA 5. OBRA DE CONTENCIÓN EN SECCIÓN TRANSVERSAL MIXTA	24
FIGURA 6. DRENAJES INTERCEPTADOS POR EL CORREDOR.....	25
FIGURA 7. SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA DE VIADUCTO.	28
FIGURA 8. SECCIONES TÍPICAS EN VIADUCTO.....	29
FIGURA 9. PLANTA DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	29
FIGURA 10. PERFIL DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	30
FIGURA 11. LOCALIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE SOBANTES DE LA ALTERNATIVA EN VIADUCTO.....	33
FIGURA 12 . SUPERPOSICIÓN DE LOS TRAZADOS EN PLANTA DE LAS ALTERNATIVAS DE CORTE – RELLENO Y VIADUCTO.....	35
FIGURA 13. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	36
FIGURA 14. GEOLOGÍA LOCAL DE LA ZONA DE IMPLANTACIÓN DEL CORREDOR.	38
FIGURA 15. USOS DEL SUELO DEL AID DEL PROYECTO.	42
FIGURA 16. LOCALIZACIÓN DE ACUÍFEROS CONFINADOS Y LIBRES.....	44
FIGURA 17. MAPA DE COBERTURA VEGETAL	48
FIGURA 18. MAPA DE ARQUEOLOGÍA	52
FIGURA 19. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	57
FIGURA 20. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	66
FIGURA 21. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LOS TRES ESCENARIOS ANALIZADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL ESIA REAL (SIN PROYECTO Y CORTE-RELLENO) Y DE LA EVIA REALIZADA PARA LA ALTERNATIVA DE VIADUCTO.	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DESDE K0+000 AL K5+400 DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO.....	26
ILUSTRACIÓN 2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DESDE K5+400 AL K9+423 DE LA ALTERNATIVA CORTE – RELLENO.....	27

Introducción

La mayoría de proyectos viales en Colombia, en especial las carreteras, se han desarrollado implementando esquemas tradicionales de construcción, es decir bajo sistemas constructivos tipo corte – relleno, combinados con puentes y en algunos casos, con túneles. Este trabajo busca destacar la importancia de realizar la evaluación ambiental comparada de alternativas para diferentes esquemas constructivos en proyectos viales en Colombia, mediante el análisis de un caso de estudio específico.

Para este fin, se planteó el diseño básico de un viaducto para el desarrollo del proyecto objeto de estudio, partiendo del supuesto de que mediante esta alternativa se podrían reducir impactos asociados a movimientos de tierras, pérdida de cobertura vegetal, afectación de corrientes naturales, fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos, entre otros. Teniendo en cuenta que el trazado de la alternativa de corte y relleno no difiere ampliamente del trazado de la alternativa de viaducto, se asumió el área de influencia contemplada en el Estudio de Impacto Ambiental – Esla real. De esta forma, en este trabajo se presenta un resumen de la información existente sobre la descripción del área de influencia y la zonificación ambiental del Esla existente.

La evaluación de impactos ambientales de la alternativa de viaducto planteada se realizó siguiendo la metodología empleada en el EsIA real del caso de estudio, que corresponde a la de Conesa, modificada por la Universidad de Cartagena. La evaluación comparada de impactos ambientales se realizó únicamente para la etapa de construcción de las alternativas objeto de estudio, incluyendo la valoración cualitativa de impactos ambientales y un análisis de la demanda de recursos naturales en cada caso.

La valoración de impactos ambientales se realizó a partir de información secundaria, incluyendo una cuidadosa revisión del EsIA existente para la alternativa corte-relleno, con el fin de identificar juicios, criterios y escalas de valoración. Con el objeto de reducir el nivel de subjetividad de la evaluación, se realizó un análisis de sensibilidad, en donde se analizaron diferentes escenarios de valoración para aquellos casos en donde se identificó un mayor grado subjetividad. Los impactos con mayor grado de incertidumbre (por no tener suficiente

información y/o antecedentes) fueron calificados bajo el escenario más crítico, por el principio de precaución de la gestión ambiental.

El análisis de resultados se produce en virtud de la evaluación comparada de impactos ambientales para los escenarios: “sin proyecto”, “alternativa corte – relleno” y “alternativa en viaducto”, considerando además la zonificación ambiental del proyecto y la demanda de recursos naturales para cada alternativa.

Objetivos y Alcance

Objetivo general:

Realizar una evaluación comparada de los impactos ambientales del proceso constructivo de un viaducto y del esquema tradicional de corte – relleno, para el caso de estudio de la construcción de una carretera.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar una propuesta para la alternativa de viaducto, mediante un esquema básico de trazado vial para el corredor objeto de estudio.
2. Presentar la evaluación de los impactos ambientales del proceso constructivo para la alternativa de corte - relleno.
3. Realizar la evaluación de los impactos ambientales del proceso constructivo para la alternativa de viaducto planteada.
4. Comparar los impactos ambientales de los dos procesos constructivos.

Alcance

Se realiza una comparación de los impactos ambientales de dos alternativas para la construcción de un corredor vial. Dicha comparación incluye únicamente la alternativa de corte y relleno que será construida y una alternativa de viaducto, planteada en el desarrollo de este trabajo.

Para el planteamiento de la alternativa de viaducto se conservan los puntos reales de conexión entre el casco urbano y la vía departamental existente, planteando un trazado tanto en planta como en perfil, sin cambios significativos en planta con respecto a la alternativa de corte y relleno.

En cuanto a la comparación de impactos ambientales, ésta se realiza únicamente para la etapa de construcción del proyecto.

El trabajo se adelanta únicamente a partir de información secundaria, empleando la información contenida en la documentación existente, perteneciente al proyecto analizado.

1. Descripción General del Caso de Estudio

Debido a los efectos derivados del fenómeno de la Niña 2010 – 2011, se produjo un deslizamiento que afectó un municipio de Colombia, destruyendo su casco urbano y dejando en ruinas las edificaciones y espacio público del mismo, lo que imposibilitó las actividades productivas y sociales de su población.

Por tal motivo el Gobierno Nacional aprobó un proyecto para el reasentamiento del casco urbano y rehabilitación económica del municipio. En el marco de dicho proyecto se plantearon cuatro alternativas para el reasentamiento, que fueron analizadas a través de estudios específicos realizados por la Sociedad Colombiana de Geotecnia, entidad que seleccionó la zona de reasentamiento.

El área seleccionada para el reasentamiento es de vocación agrícola y no ha sufrido otras alteraciones anteriormente. Así, carece de la infraestructura de transporte y de servicios públicos necesaria para atender a su futura población (4532 habitantes al año 2039¹).

La revisión que aborda este documento corresponde al corredor vial de segundo orden desarrollado para comunicar el nuevo casco urbano de la población reasentada con la vía departamental. Este corredor está compuesto por 2 tramos (uno de entrada a la población y otro de salida, como se aprecia en la figura 1).

1.1 Localización General

En el entorno regional, la ubicación del casco urbano de la población a ser reasentada es estratégica, ya que se localiza sobre el eje vial de su territorio, generando la situación de “población de paso obligado”, para lograr conectividad con otros municipios y con sus propias veredas, cumpliendo de esta forma una función de integrador local.

¹ Corresponde a la población urbana total proyectada (incluyendo población flotante y atraída) con una tasa de 1.16% anual a partir de una población de 3316 habitantes en el 2012, utilizando el método geométrico del RAS 2000. Tomado del Informe de Diseño de Acueducto y Alcantarillado para el reasentamiento de la población del Caso de Estudio.

El primer tramo (tramo 1 en la figura 1), comprende 9.4 Km y corresponde a la conexión de la vía departamental (907 m.s.n.m) con el lote donde será desarrollado el nuevo casco urbano de la población (1412 m.s.n.m). El segundo tramo (tramo 2 en la figura 1), comprende 2.5 Km y corresponde a la conexión (1482 m.s.n.m) entre el lote donde será desarrollado el nuevo casco urbano de la población y el punto donde se vuelve a tener conexión con la vía departamental (1344 m.s.n.m), de acuerdo con el objeto del proyecto.

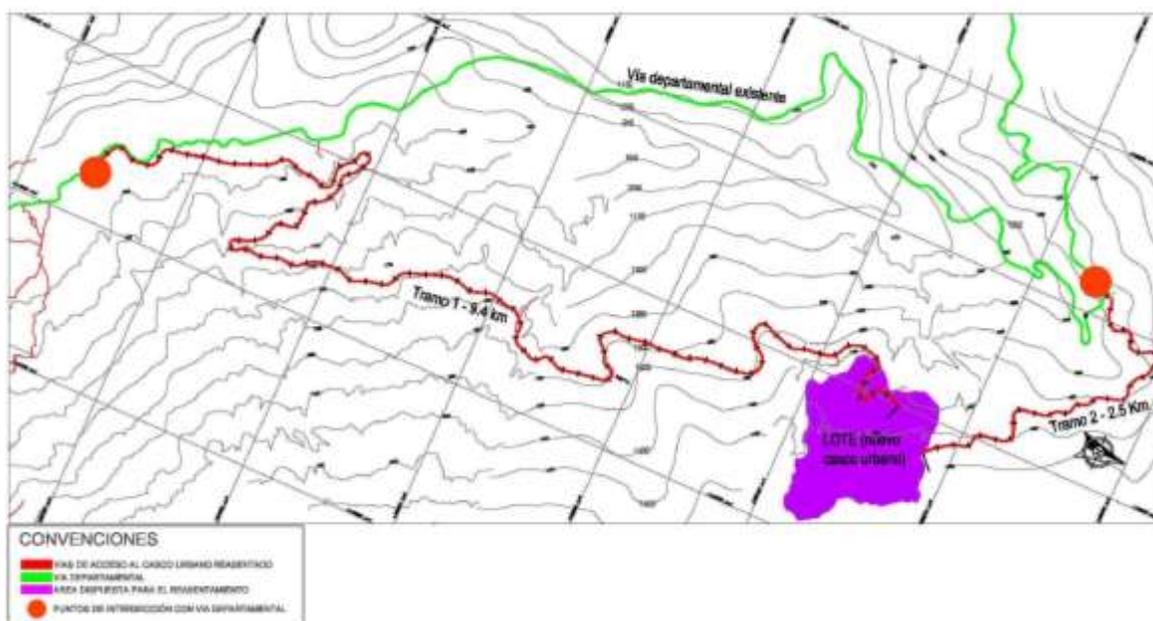


Figura 1. Localización del casco urbano y de la vía departamental existente a conectar mediante el corredor vial objeto de análisis.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

1.2 Información Disponible

La información real del proyecto que se utilizará como insumo para la formulación de la alternativa corte-relleno y para la evaluación comparada de impactos ambientales, es la relacionada a continuación:

Tabla 1. Información disponible

Nombre del Documento	Información de interés
Estudio de tránsito y transporte	Información secundaria; estudio de tránsito, capacidad y niveles de servicio del corredor vial objeto de estudio.
Topografía y estudio de trazado geométrico	Parámetros básicos del trazado; estimación y longitud de trazado, volúmenes de movimiento de tierras, obras principales y localización con respecto al lote para reubicación del reasentamiento.
Geología para ingeniería	Geología regional; geología Local; geología estructural; geomorfología; drenaje; zonas de disposición de sobrantes.
Estudio de hidrología, hidráulica y socavación	Análisis hidrológicos del corredor proyectado; análisis para determinación de obras hidráulicas; análisis de socavación en obras principales.
Coberturas y usos del suelo	Tipos de cobertura vegetal; sistemas forestales; sistemas agroforestales; áreas agrícolas.
Áreas de significancia ambiental	Áreas para generación y regulación del recurso hídrico.
Flora y Fauna	Riqueza y diversidad de especies; identificación de objetos de conservación; amenazas y presiones
Estudio de Impacto Ambiental - EsIA	Evaluación de impactos ambientales de la alternativa corte-relleno; metodología y criterios para la Evaluación de Impactos Ambientales de la alternativa de viaducto. Área de influencia y zonificación ambiental.
Estudio y diseño de estructuras	Diseño de las estructuras necesarias para el desarrollo de la alternativa corte – relleno
Estudio de estabilidad y estabilización de taludes	Diseño de las obras requeridas para garantizar la estabilidad de la alternativa corte – relleno.
Estudio de suelos para el diseño de fundaciones de puentes y otras estructuras de contención	Descripción y análisis de las características del suelo para diseño de obras de drenaje, puentes y muros de contención.
Estudio geotécnico y diseño del pavimento	Diseño de las estructuras de pavimento requeridas en la alternativa corte – relleno, a partir de las características del suelo y del TPD.
Estudio de cantidades de obra, análisis de precios unitarios y presupuesto	Relación de las cantidades y determinación del presupuesto de obra, para la alternativa corte - relleno

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2. Descripción de la Alternativa Constructiva Tradicional “Corte – Relleno”

El corredor vial que será construido corresponde a una alternativa de construcción tradicional, que a lo largo de este documento se denominará “corte – relleno”. Esta alternativa será comparada con un planteamiento de viaducto sobre el mismo corredor. A continuación se describe la alternativa de corte – relleno en lo que respecta su diseño geométrico, pavimentos, obras de estabilidad, hidráulica, estructuras y zonas de disposición de sobrantes.

2.1 Diseño Geométrico

El diseñador elaboró su diseño geométrico a partir de los levantamientos topográficos realizados y de la cartografía existente, información que se presenta de manera general en la figura 1.

Los parámetros generales, así como la sección típica de diseño, cumplen con los requisitos del manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, para una vía de segundo orden.

La sección típica de diseño se muestra en la figura No 2.

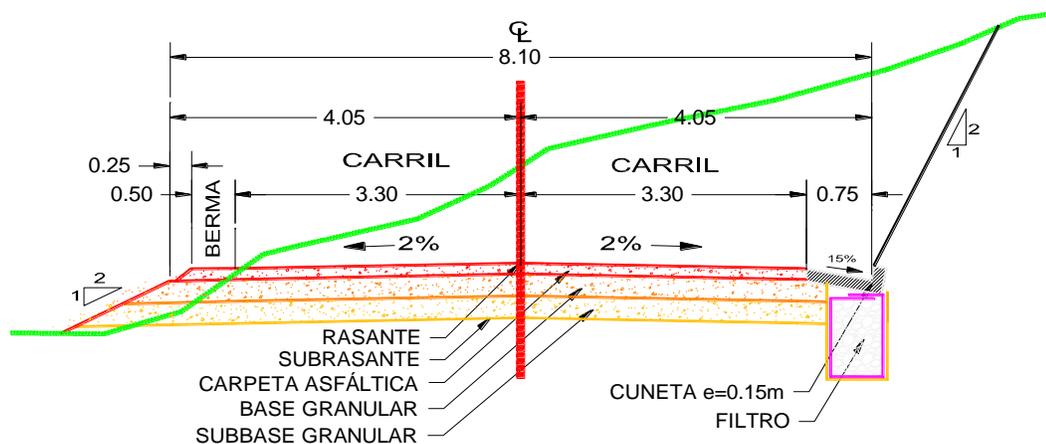


Figura 2. Sección transversal típica adoptada.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

Dado el tipo de terreno en el cual se desarrolla el caso de estudio (Montañoso escarpado), se presentan tres tipos de secciones transversales, los cuales se presentan a continuación:

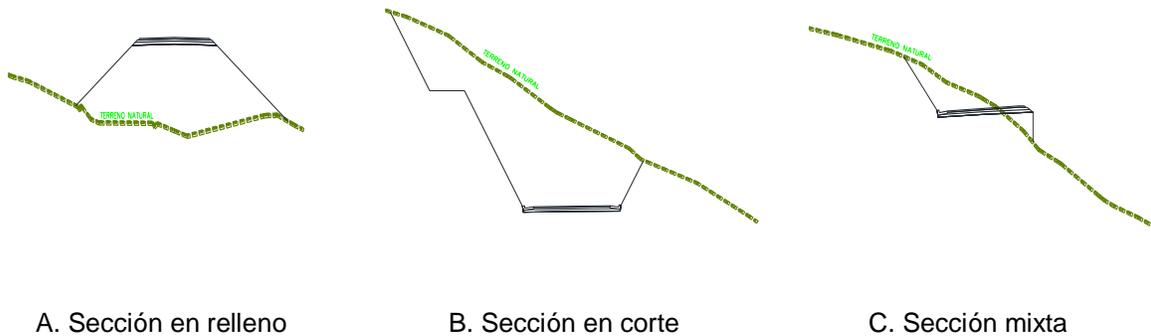


Figura 3. Secciones transversales tipo de la alternativa corte-relleno.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

En la figura 1 se observa la planta de la alternativa corte – relleno y las principales características del diseño geométrico de esta alternativa se resumen a continuación:

Tabla 2. Características principales del diseño geométrico de la alternativa corte – relleno.

Parámetro	Tramo 1	Tramo 2
Velocidad de diseño:	40 km/h	40 km/h
Longitud:	9.4 Km	2.5 Km
Pendiente ponderada:	5.44%	5.80%
Volumen total de corte:	239.118 m ³	90.802 m ³
Volumen total de relleno:	47.976 m ³	8.896 m ³
Ancho calzada:	6.60 m	6.60 m
Ancho incluyendo zona de reserva:	45 m	45 m
Rango de pendientes:	3 a 7.5%	0.5 a 7.5%
Número de puentes:	6	3

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.2 Estabilidad y Estabilización de Taludes

Este estudio se realiza con el objetivo de determinar el grado de estabilidad de los taludes, cortes y/o terraplenes a realizar en el proyecto, así como para identificar los sectores inestables y/o con amenaza de deslizamiento y por ende definir las obras correctivas para su estabilización. Esta información resulta relevante en la comparación de impactos ambientales relacionados con el movimiento de tierras, para las dos alternativas analizadas.

2.2.1 Análisis de estabilidad de cortes. Como resultado de los análisis realizados en el estudio geológico del proyecto para la construcción de la alternativa corte-relleno, los reconocimientos de campo, los aspectos litológicos, morfológicos, geológicos y geotécnicos de la zona, la alternativa de corte-relleno incluye la conformación de taludes como se resume a continuación:

- Para cortes en materiales tipo coluvión: 0.75H:1.0V (en una longitud de 3.46 Km)
- Para cortes en roca muy alterada y/o fracturada: 0.50H:1.0V (en una longitud de 4.00 Km)
- Para cortes mayores a 10 m de altura: Terrazas intermedias de 3 m de ancho, cada 10 m de altura. (en una longitud de 2.33 Km).

De esta forma, para la alternativa corte-relleno se requiere realizar obras de estabilización en una longitud de 9,79 Km, es decir, en cerca del 80% del corredor vial.

2.2.2 Análisis de bloques de roca. De acuerdo con los resultados de los estudios geotécnicos del proyecto, se deben implementar obras tales como la instalación de pernos de anclaje, obras de subdrenaje (tales como filtros colocados en la zona posterior de muros de contención y de manera transversal en las terrazas de corte), revestimiento de laderas con concreto lanzado y mallas en acero, para garantizar la estabilidad de los sitios que podrían presentar fallas por sensibilidad ante la variación de los parámetros de resistencia, altura del talud y empuje de tierras por acumulación de agua.

2.2.3. Taludes en terraplén. El diseño geométrico vial contempla varios tramos en terraplén o relleno que requieren obras de estabilidad (en una longitud de 1.97 Km), como se ilustra en la figura 4 De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad realizados en el estudio existente, los terraplenes con alturas hasta de 5m son estables con inclinaciones 1.5H:1.0V. Para los taludes de 5m a 10m de altura se deben manejar inclinaciones de 2.0H:1.0V. Adicionalmente, los taludes son empradizados, como medida de protección contra la erosión.

Los terraplenes que se encuentran cercanos a corrientes de agua deben protegerse en su base con obras como gaviones, bolsacretos o capas conformadas con geosintéticos.

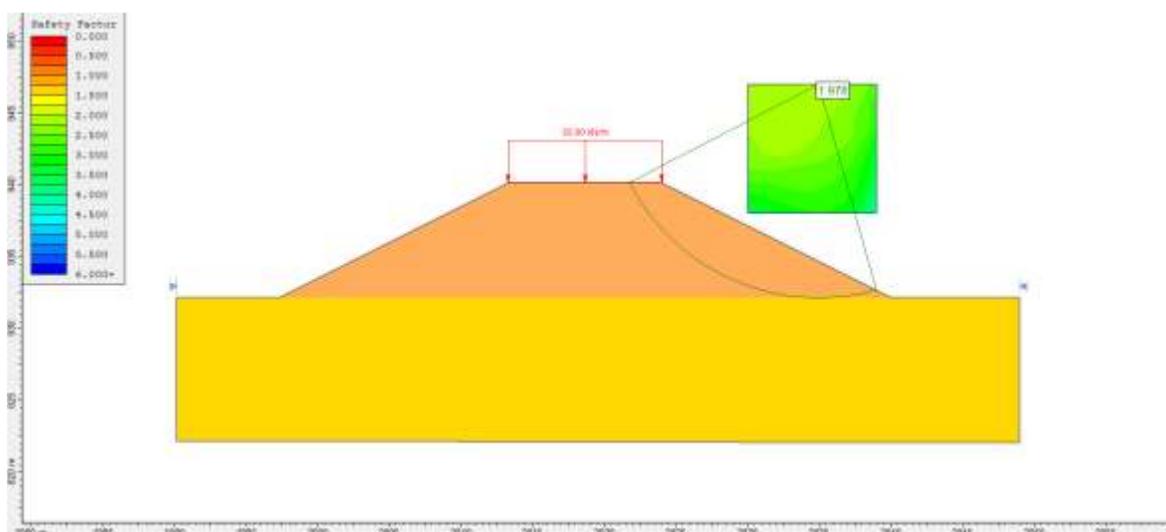


Figura 4. Modelo terraplén estático – H=8m – Talud 2.0H:1.0V

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.2.4. Estructuras de Contención. Con el fin de garantizar el confinamiento y estabilidad de la banca de la vía proyectada, en especial en las secciones mixtas de corte y relleno, el diseño existente incluyó muros de contención en concreto reforzado en una longitud de 1.07 Km, en algunos casos cimentadas sobre pilotes tipo caisson, complementados por anclajes. En la figura 5, se presenta un esquema de este tipo de estructura.

Para la construcción de los tramos viales en estudio, se requerirá un total de **260** pilotes, con profundidades que varían entre **8** y **14** metros.

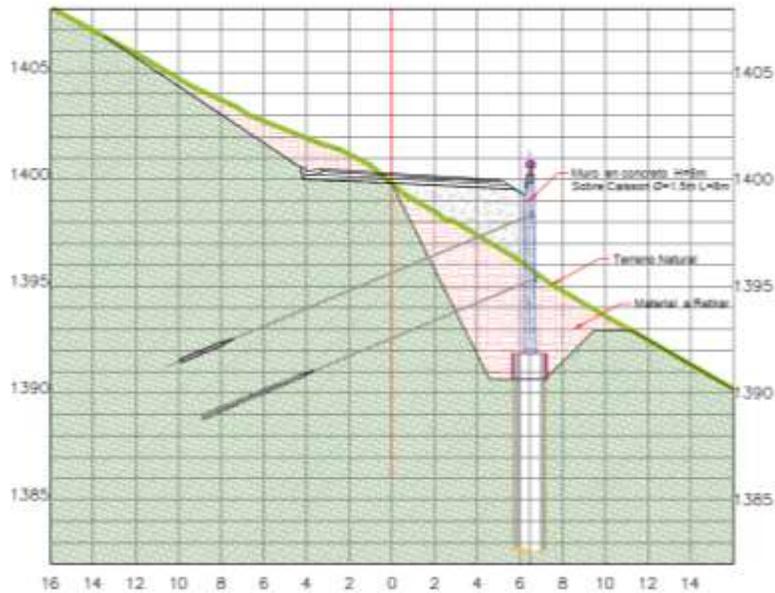


Figura 5. Obra de contención en sección transversal mixta

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.3 Hidráulica.

Esta información resulta relevante en la comparación de impactos ambientales de las dos alternativas analizadas, en términos de modificaciones de cauces y recursos requeridos para el manejo hidráulico del proyecto.

Como resultado de los diseños reales de la alternativa corte - relleno, se determinó que se requiere la construcción de las siguientes obras:

Tabla 3. Cantidad y tipo de obras de drenaje de la alternativa corte – relleno

Tipo de obra	Cantidad
Alcantarillas de 36" de diámetro	58
Box Couvert 2.0m x 1.5m	4
Box Couvert 2.0m x 1.0m	1
Box Couvert 2.5m x 1.0m	1
Box Couvert 3.0m x 2.0m	1
Disipadores de energía (Rápidas escalonadas):	4
Cunetas de 1.2m de ancho y 0.30m de alto:	Al borde interno de la vía en las secciones en corte – 9.2 km

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.3.1. Hidráulica de obras mayores.

En la figura 6, se aprecian los cauces interceptados por el corredor. En total, se deben realizar 9 cruces sobre fuentes hídricas.

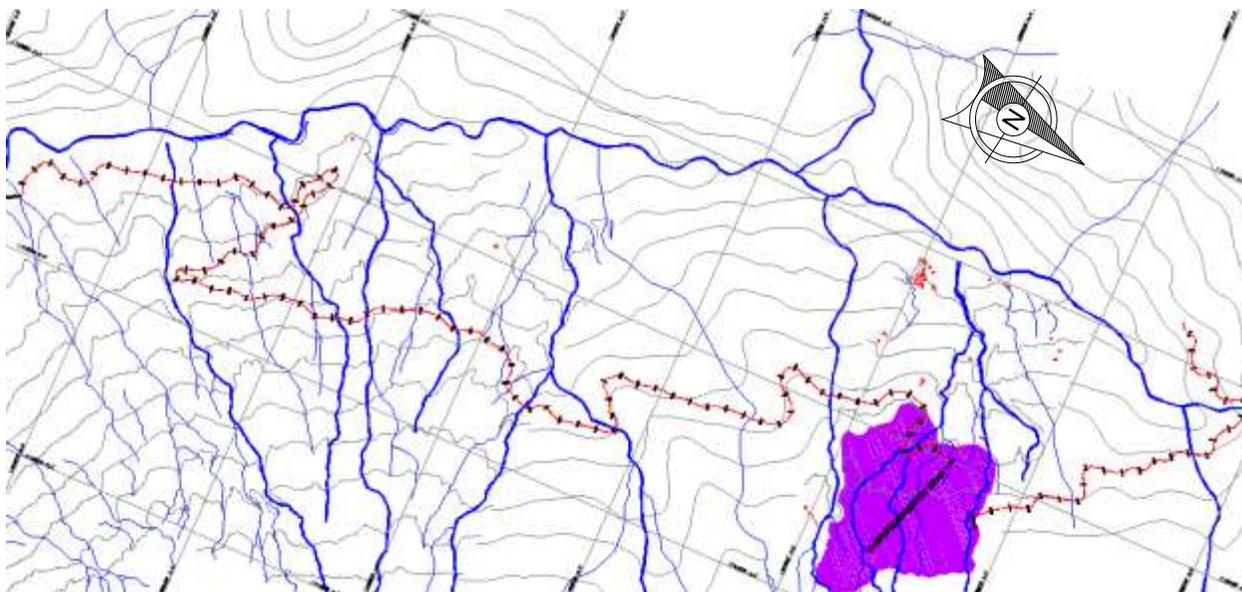


Figura 6. Drenajes interceptados por el corredor.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.4 Estructuras

A partir de los estudios de diseño geométrico, geología, hidrología e hidráulica y estabilidad de taludes, en el diseño de la alternativa real corte-relleno se contemplaron tres grupos de obras estructurales, a saber:

Obras hidráulicas (Alcantarillas, Box Couvert, Disipadores de energía); Puentes; y Muros de contención. En la tabla 4, se relacionan los datos generales de las estructuras requeridas en la alternativa.

Tabla 4. Estructuras requeridas en la alternativa Corte – Relleno.

Tipo de estructura	Cantidad / Longitud acumulada
Alcantarillas	58
Box Coulvert	7
Disipadores de energía	4
Puentes	9 (410 m)
Muros de Contención	1.07 m

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

2.5. Pavimentos

A partir de las proyecciones de tránsito y de las características de los suelos el Consultor elaboró el diseño de pavimentos para la alternativa corte – relleno, el cual arrojó como resultado las estructuras representadas en las ilustraciones 1 y 2.

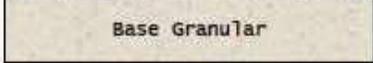
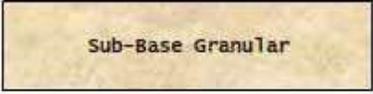
K0+000 - K5+400		
Materiales	Espesores (cm)	Especificación INV NIVEL DE TRANSITO NT1
	8	ARTICULO 450-07
	15	ARTICULO 330-07
	20	ARTICULO 320-07
Espesor Total (cm):	43	

Ilustración 1. Estructura de pavimento desde K0+000 al K5+400 de la alternativa corte – relleno.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

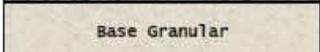
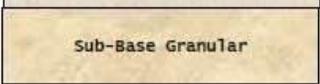
K5+400 - K9+423		
Materiales	Espesores (cm)	Especificación INV NIVEL DE TRANSITO NT1
	10	ARTICULO 450-07
	15	ARTICULO 330-07
	20	ARTICULO 320-07
Espesor Total (cm):	45	

Ilustración 2. Estructura de pavimento desde K5+400 al K9+423 de la alternativa corte – relleno.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Con respecto a la estructura de pavimento en los puentes, el Consultor recomendó la colocación de una carpeta asfáltica (MDC-2) de 5 cm sobre el tablero en concreto.

2.6. Zonas de Disposición de Sobrantes.

2.7 Resumen de Características de la Alternativa Corte – Relleno

Teniendo en cuenta lo descrito a lo largo de este capítulo a continuación se resumen las principales características de la alternativa corte – relleno:

Tabla 5. Resultados principales de la alternativa corte - relleno

Descripción	Resultado
Longitud	9.4 Km (tramo 1) + 2.5 Km (tramo 2) = 11.9 Km
Volumen de corte	451.161,30 m ³
Volumen de relleno	123.797,26 m ³
Numero de Puentes	9
Longitud acumulada de puentes	410 ml
Número de obras de drenaje	58
Numero de depósitos ZODMES	5
Longitud conformación de taludes	9,79 Km
Longitud de taludes en terraplén	2.29 Km
Longitud estructuras de contención	1.07 Km
Cruces de fuentes hídricas	9
Estructuras tipo Box Coulvert	7
Disipadores de energía	4

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

3. Planteamiento de la Alternativa de Viaducto

Con el fin de comparar los impactos ambientales derivados de la alternativa de construcción tradicional “Corte – Relleno” con una alternativa de viaducto, a continuación se plantea un diseño para esta última, manteniendo los puntos de conexión con la población y un trazado similar al de la alternativa de corte-relleno.

A continuación se describe la alternativa de viaducto planteada, en lo que respecta a diseño geométrico, obras de protección, hidráulica, estructuras, pavimentos y zonas de disposiciones de sobrantes.

3.1 Diseño Geométrico

El planteamiento del diseño geométrico de la alternativa de viaducto se realizó a partir de los levantamientos topográficos elaborados por el Consultor responsable de la alternativa corte – relleno y de la cartografía existente.

Los parámetros generales, cumplen con los requisitos del manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, para una vía de segundo orden.

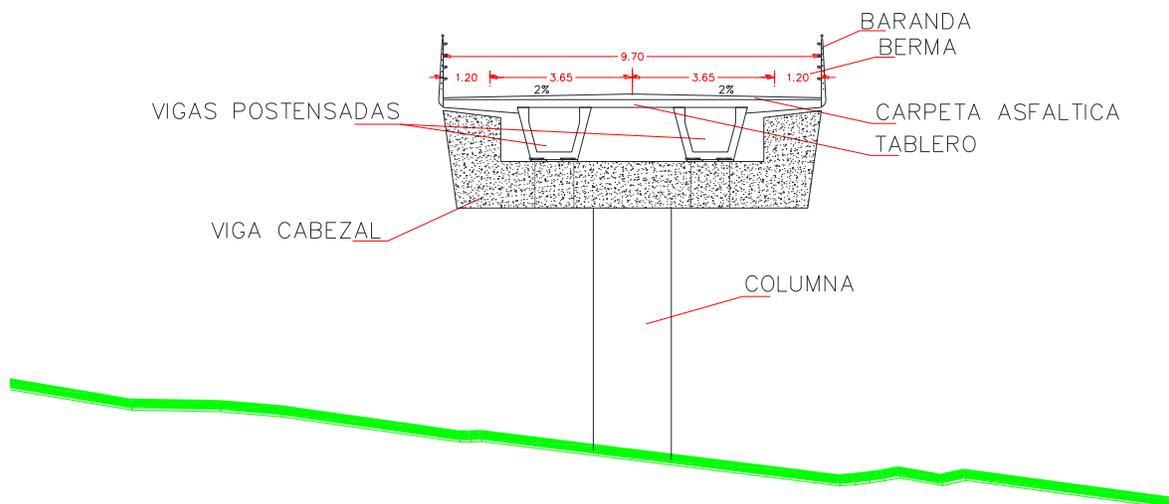
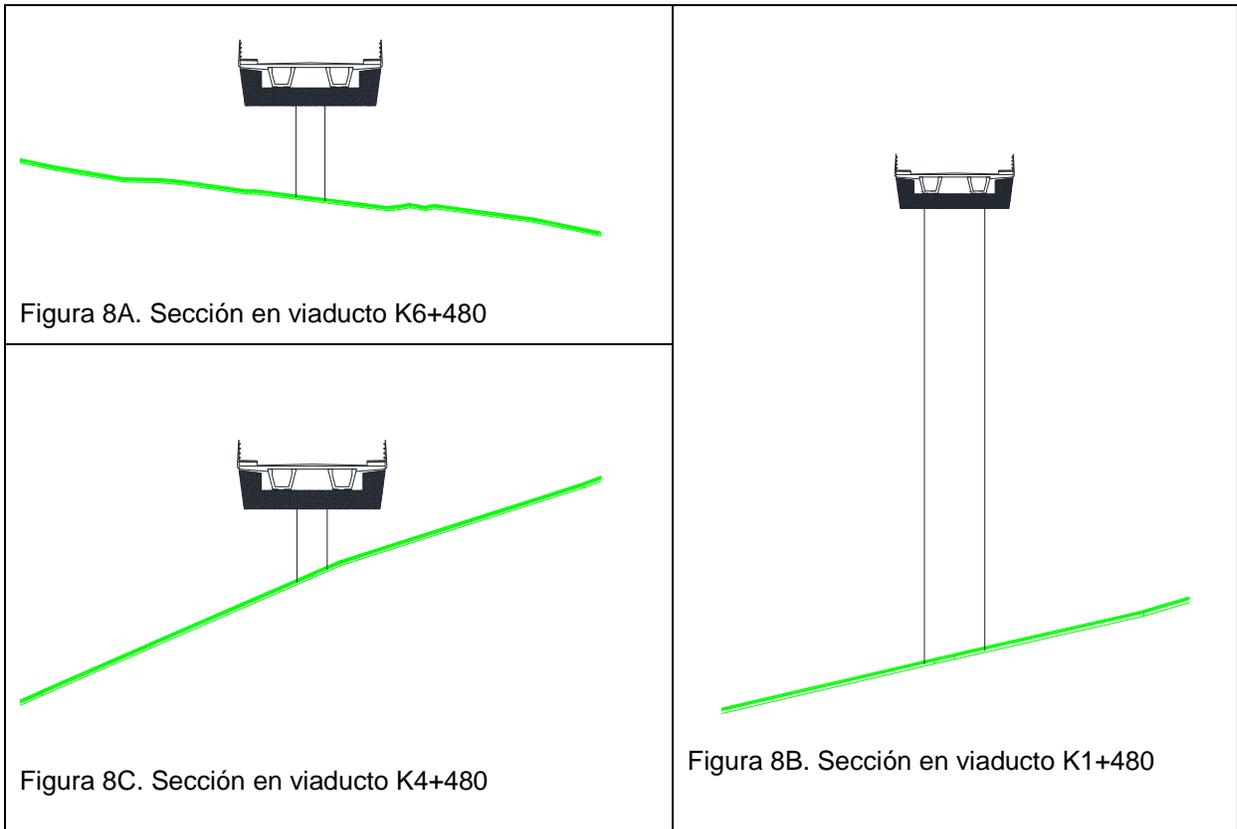


Figura 7. Sección transversal típica de viaducto.

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan las diferentes secciones a lo largo del corredor:



Fuente: Elaboración propia

En las siguientes figuras se presentan la planta y el perfil de la alternativa en viaducto planteada.



Figura 9. Planta de la alternativa en viaducto

Fuente: Elaboración propia

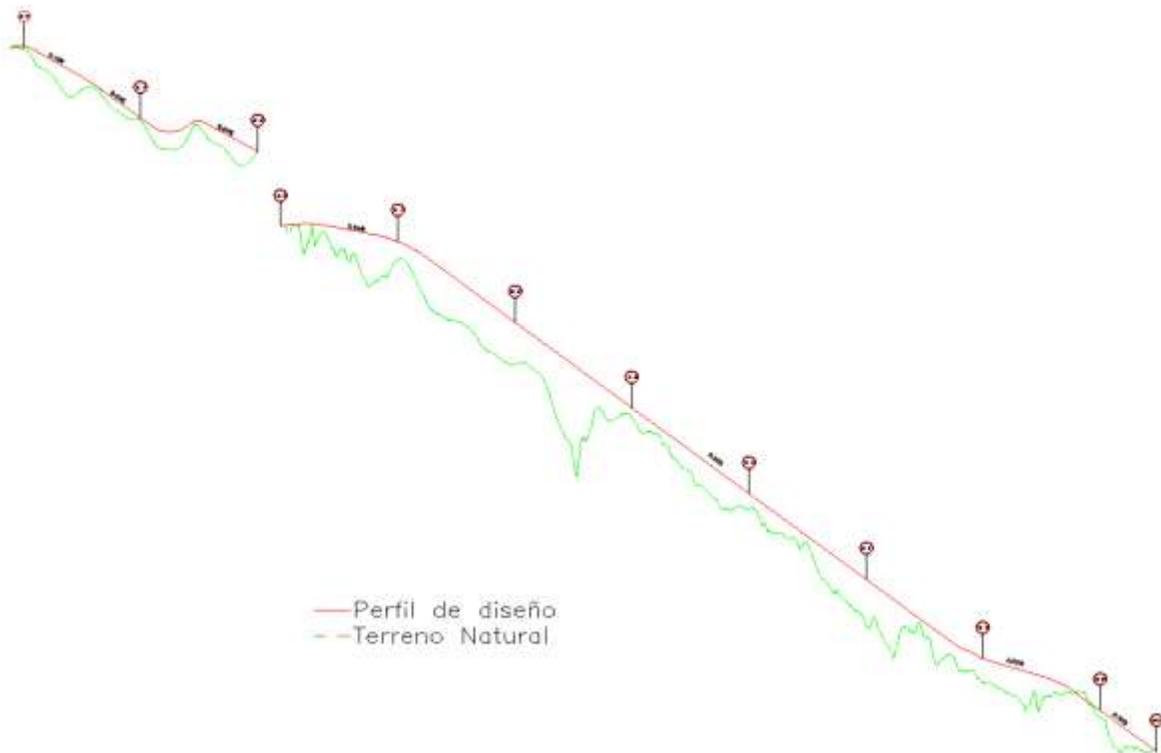


Figura 10. Perfil de la alternativa en viaducto

Fuente: Elaboración propia

Las principales características del diseño geométrico de la alternativa en viaducto, se resumen a continuación:

Tabla 6. Características principales del diseño geométrico de la alternativa en viaducto

Parámetro	Valor
Velocidad de diseño:	60 km/h
Longitud:	9.60 Km
Pendiente ponderada:	7.04%
Ancho calzada:	7.30 m
Ancho incluyendo zona de reserva:	45 m
Rango de pendientes:	2.24 a 8.0%

Fuente: Elaboración propia

3.2 Estabilidad y Estabilización de Taludes

Como resultado del diseño geométrico del planteamiento de la alternativa de viaducto, solamente se presentan cortes en 3 cortos tramos: desde el K6+790 al K6+897 (107m) y del K0+000 al K0+050 (50m) en el tramo 1 y desde el K2+042 al K2+117 (75m) en el tramo 2, con alturas máximas de corte 6.62m, 0.48 y 2.36m, respectivamente. El manejo de taludes se plantea con una inclinación de 0.50H:1.0 V, complementado con empradizarían como de protección contra la erosión.

La alternativa de viaducto no requiere de otras obras de estabilización de taludes, ni medidas adicionales de protección.

3.3 Hidráulica

Tomando como base los estudios realizados para la alternativa “corte – relleno”, según los cuales el nivel de aguas máximas se encuentra entre 1.40 m y 2.7 m en los cauces librados con puentes, se asume que el gálibo propuesto para el viaducto (i.e. mínimo 20.70 m – máximo 102.06 m) garantiza la capacidad hidráulica de las diferentes corrientes presentes en el corredor, por tal motivo no se presentan planteamientos de obras hidráulicas.

El drenaje transversal de la calzada, asegura su evacuación de manera transversal (2.0%) en los tramos desarrollados en tangente horizontal y por la inclinación del peralte en los tramos con curvas horizontales.

El drenaje horizontal se evacúa por medio de la pendiente y a través de drenes verticales de 4” de diámetro, distanciados cada 4m en ambos costados de la calzada, para un total de 4.800 drenes verticales a lo largo del corredor.

3.4 Estructuras

Tomando como referencia los resultados de los estudios desarrollados para la alternativa de corte – relleno en cuanto a suelos, geología y diseño de puentes, se realizaron los siguientes planteamientos de infraestructura y superestructura que componen el viaducto propuesto.

Tabla 7. Principales características estructurales planteadas para el viaducto.

Característica	Descripción
Número de pilas	84
Luz entre pilas	100 m
Altura de pilas	Entre 6 y 76.5 m
Altura promedio de pilas	27.45 m
Tipo de cimentación	Profunda (5.6m – 30m), mediante caisson
Tipo de vigas	Tipo Cajón en Concreto postensado
Superestructura	Losa superior – Vigas tipo cajón – Viga Cabezal (Ver figura 9).

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las diferentes alturas que presenta el viaducto, se plantean diferentes características de infraestructura, mientras que para la superestructura, solo se propone un tipo de configuración que responde a las necesidades del tránsito y diseño geométrico.

Tabla 8. Criterios generales propuestos para la infraestructura del viaducto.

Altura de pila	Diámetro de pila	Numero - Diámetro de caisson / Pila	Profundidad Promedio de caisson
6 – 10 m	2 m	2 – 1.5m	5.6m
10 – 20 m	3 m	4 – 1.5m	10.5m
20 – 30 m	4 m	6 – 2.0m	17.5m
30 – 40 m	5 m	8 – 2.0m	24.5m
>40 m	6 m	12 – 2.0m	30.0m

Fuente: Elaboración propia

3.5 Pavimentos

Teniendo en cuenta que el tráfico proyectado es el mismo sin importar la alternativa de construcción, se adopta la recomendación del consultor de la alternativa corte – relleno, la cual es la colocación de una carpeta asfáltica (MDC-2) de 5 cm de espesor, sobre el tablero en concreto.

3.6 Zonas de Disposición de Sobrantes

El volumen aproximado de excavación requerido para la alternativa planteada de viaducto es el siguiente:

Tabla 9. Volúmenes aproximados de excavación alternativa en viaducto.

Descripción	Volumen
Corte	4.814,65 m ³
Excavación para caisson	39.786,64 m ³
Excavación para dados	16.487,46 m ³
Total	61.088,75 m³

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los Zodmes definidos en la alternativa corte – relleno y considerando el volumen de excavación resultante para la alternativa planteada, solo se hace necesaria la utilización parcial del depósito No 2, el cual tiene una capacidad de 181.000 m³. Se plantea la utilización de este sitio por encontrarse en la zona central del corredor, minimizando así las distancias de transporte de estos materiales.

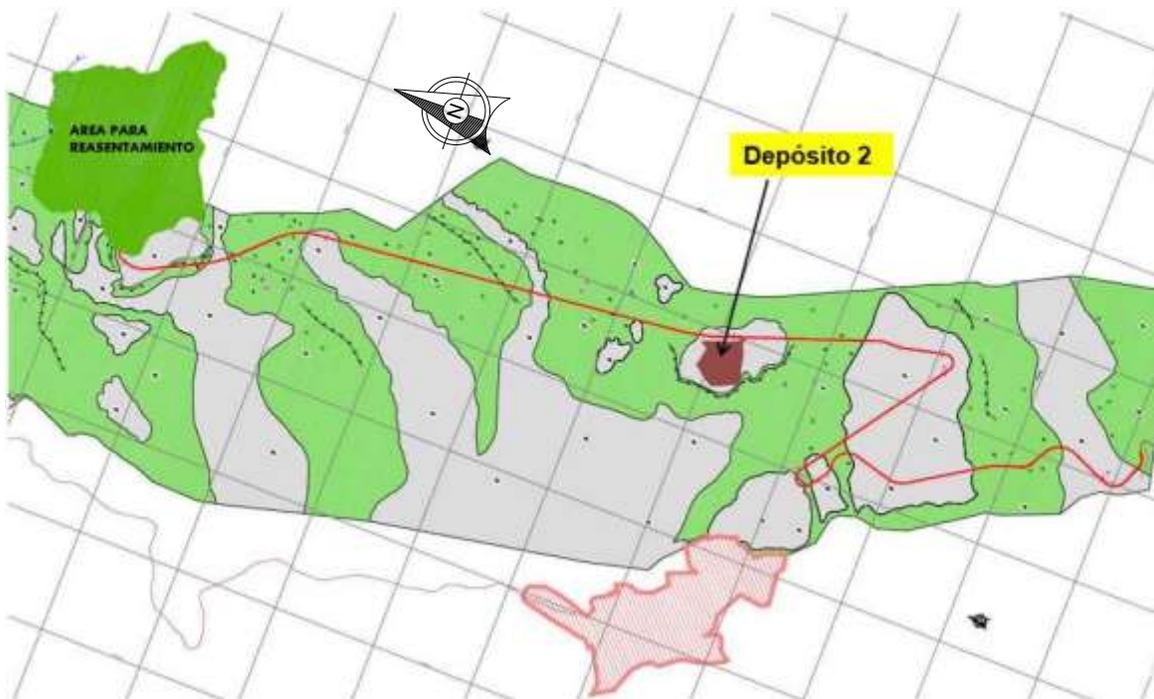


Figura 11. Localización del depósito de sobrantes de la alternativa en viaducto.

3.7 Resultados Principales de la Alternativa en Viaducto

A continuación se resumen las principales características de la alternativa en viaducto:

Tabla 10. Resultados principales de la alternativa en viaducto

Descripción	Resultado
Longitud	9.60 Km
Volumen de corte	4.184,65 m3
Volumen de excavación para fundación de estructuras	56.274,10 m3
Número de pilas	84
Número de depósitos	1

Fuente: Elaboración propia

4. Área de Influencia

Para realizar el análisis comparativo de impactos ambientales de las alternativas objeto de estudio, es necesario determinar y caracterizar el área de influencia del proyecto, así como la zonificación ambiental del mismo. Teniendo en cuenta que el trazado de la alternativa de corte y relleno no difiere ampliamente del trazado de la alternativa de viaducto planteada (Ver Figura 12), se asume que el área de influencia es la misma para las 2 alternativas constructivas.



Figura 12. Superposición de los Trazados en planta de las alternativas de corte - relleno y viaducto

Fuente: Elaboración propia

En la alternativa corte - relleno, el proceso de determinación del área de influencia se apoyó en sistemas de información geográfica (SIG) y se realizó considerando los siguientes aspectos:

- Suelo directamente intervenido
- Microcuencas
- Cobertura vegetal a remover
- Infraestructura existente
- ZODMES
- Vías de acceso
- Cotidianidad de las prácticas socioeconómicas y culturales de las poblaciones presentes en la zona (predios y veredas).

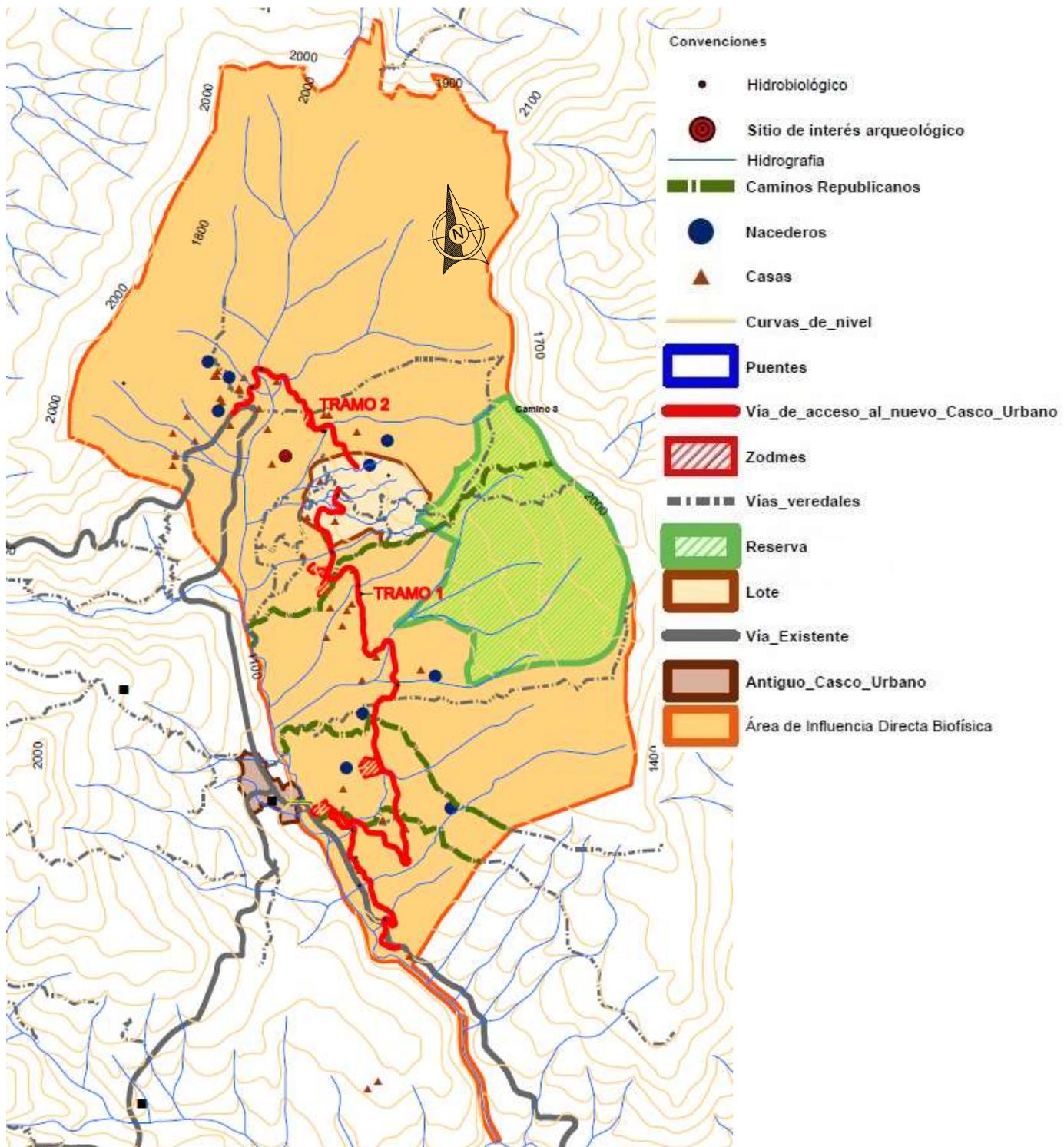


Figura 13. Área de influencia del proyecto.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

4.1 Caracterización del Área de Influencia

La información presentada en este capítulo corresponde a una síntesis de los principales aspectos contenidos en el Estudio de Impacto Ambiental - EsIA existente (Ver Tabla 1), cuyo contenido procede de fuentes de información primaria (muestreos, ensayos de laboratorio, visitas de verificación, entrevistas, encuestas) y de información secundaria proveniente de fuentes oficiales de información. A continuación se presenta una síntesis de los aspectos que resultan de interés para este estudio.

4.1.1 Medio Abiótico²

4.1.1.1 Geología.

El área del proyecto tomado como caso de estudio se encuentra ubicada en la cordillera oriental, la cual es producto de un orógeno ortotectónico (placa tectónica con corteza continental que fue arrugada y empujada hacia arriba), que a la vez se desarrolló en un ambiente miogeosinclinal (cuerpos sedimentarios en ausencia de vulcanismo) desarrollada durante el cretáceo. Producto de la orogenia andina se desarrollaron grandes fallamientos y plegamientos. El sector se ubica en el flanco de una gran estructura anticlinal que ha venido siendo erodada y recubierta por depósitos aluviales y de ladera.

Geología regional. El sector está constituido por rocas del cretáceo conformadas por areniscas y lutitas. Los procesos geomorfológicos que han tenido lugar contemporáneo con el levantamiento de la cordillera, han desarrollado una serie de depósitos de ladera principalmente en forma de coluviones y aluviones de tipo torrencial.

Geología local. La Formación No 1 – Ku (Color verde, en la figura 14), está constituida principalmente por areniscas masivas que en algunos casos superan los 6 metros de altura, intercaladas con arcillolitas y limolitas. Se encuentran principalmente en las zonas de las contrapendientes y en los escarpes a lo largo del eje vial proyectado. La resistencia de estas rocas es alta, sin embargo por tratarse de intercalaciones de areniscas y arcillolitas se requiere su remoción para la construcción de las diferentes obras, mediante métodos explosivos o mecánicos de alta potencia.

² Consultor de estudios y diseños del caso de estudio. Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de la vía objeto estudio, Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto, 2014.

La Formación No 2 – Qc (Color gris, en la figura 14), está constituida principalmente por shales con algunas intercalaciones de areniscas, se destaca un miembro conformado por liditas el cual puede alcanzar un espesor de 50 metros. Esta formación presenta una alta susceptibilidad a procesos de meteorización, y allí se han desarrollado depósitos coluviales, los cuales muestran signos de reptación y algunos escarpes de antiguos movimientos. Adicionalmente estos cuerpos evidencian alto contenido de humedad, haciendo así que los cortes que se ejecuten para la construcción de la vía, posiblemente generen desprendimientos de tipo coluvial. En cortes mayores a 5 metros se pueden presentar deslizamientos, para lo cual se deben realizar obras de contención como muros complementados con filtros longitudinales y drenes horizontales.

Debido al proceso de levantamiento de la cordillera en varios sectores se han acumulado depósitos coluviales principalmente en la base de los escarpes y en el fondo de los valles.

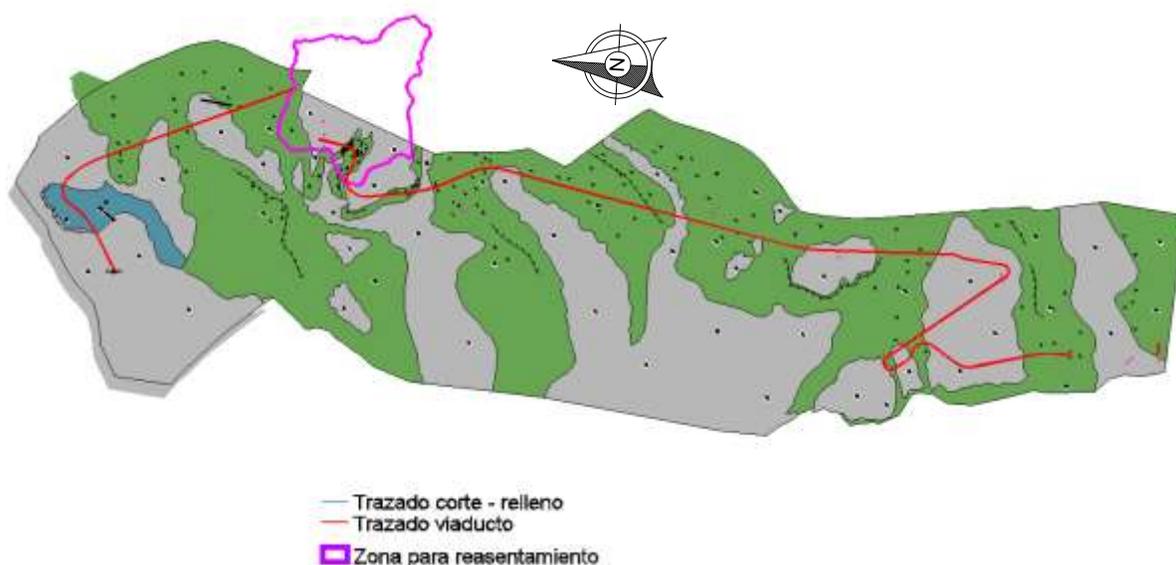


Figura 14. Geología local de la zona de implantación del corredor.

Fuente: Consultor de los Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

Geología estructural. En general la zona se puede considerar como un homoclinal. Existen diaclasas paralelas al rumbo de los estratos con una inclinación de 80 a 90 grados, lo cual ocasiona que al momento de cortar los taludes se presenten intersecciones entre las diaclasas y la estratificación, lo que puede generar caídas en cuña.

4.1.1.2 Geomorfología.

Para la descripción geomorfológica inicialmente se realiza un análisis del drenaje, como se describe a continuación:

Drenaje: la zona se caracteriza principalmente por drenajes de tipo consecuente, que corren paralelos al buzamiento. El patrón de drenaje se considera de tipo subparalelo, controlado por los planos de estratificación y los cauces obsecuentes, sin embargo al observarse a una escala regional, sobre la estructura pueden encontrarse patrones un poco más relacionados con el tipo subdendrítico.

En general el drenaje presenta buena integración, sin embargo en algunas laderas coluviales se presentan infiltraciones de pequeños canales que no permiten la continuidad, porque los materiales están conformados por bloques irregulares en donde se infiltra el agua y pasa a formar parte de los acuíferos de la zona. La red de drenaje se encuentra adaptada a la estructura y está controlada principalmente por los cauces.

Procesos: En el sector se presentan algunos procesos relacionados con erosión, pero son iniciales y se restringen a ligeros desprendimientos que se generan en los cauces principales, donde existen algunas franjas coluviales que presentan socavación lateral.

De otra parte, se presentan riesgos de fenómenos de remoción, principalmente en los coluviones donde la dirección de la superficie estructural es desfavorable y se pueden generar caídas en forma planar y en forma de cuña.

4.1.1.3 Hidrología

El proyecto está localizado en la cuenca hidrográfica de una quebrada de quinto orden, la cual tiene una composición dendrítica, en la que se encuentran los afluentes que debe superar el trazado vial del caso de estudio (9 considerables). Las funciones que cumplen actualmente estas fuentes hídricas incluyen:

- Actividades domésticas en predios rurales
- Agricultura
- Ganadería
- Piscicultura

En cuanto a la calidad del agua, de acuerdo con el EsIA existente estas son aguas no contaminadas, aunque con residuos propios de las funciones que cumplen en la zona.

En la tabla 11 se relacionan los resultados más relevantes de los ensayos realizados a las aguas de las corrientes naturales, dentro del EsIA existente del proyecto.

Tabla 11. Principales parámetros de la calidad del agua de corrientes naturales.

Parámetro	Valor	Descripción
Temperatura	18.5 – 24.9°C	Favorece la actividad bacteriana
Potencial de Hidrogeniones	5.05 – 7.91 Unidades	Datos normales influenciados por los terrenos en los que circulan las aguas. Medidas inferiores al límite mínimo establecido para potabilización.
pH	4.5 – 8.3 Unidades	Existe tanto acidez, como alcalinidad
Alcalinidad	1 – 116 mg/L CaCo3	
Acidez	1 – 4.9 mg/l CaCo3	
Turbiedad	0.53 – 322 NTU	La turbiedad se encuentra asociada principalmente a partículas coloidales y materiales muy finos
DBO	2 – 4 mg/L-O2	Aguas no contaminadas
DQO	< 10 mg/L-O2	Aguas no contaminadas

Fuente: Consultor de estudios y diseños del caso de estudio.

4.1.1.4 Usos del suelo.

En el AID del proyecto, se definen cuatro categorías para los usos actuales del suelo (agrícola 52%, agropecuario 29%, pecuario 12% y sin actividad 7%), las cuales se observan en la figura 15.

4.1.1.5 Clima.

Por estar localizada en un valle de montaña, se presentan pisos térmicos que van desde muy frío o paramuno (10°C) a cálido (26°C). Sin embargo, más de la mitad del AID se encuentra en un piso medio tropical. Las precipitaciones oscilan entre los 1300 a los 2400 mm, presentando dos periodos lluviosos, de abril a mayo y de septiembre a noviembre, siendo este último el más lluvioso; y dos periodos secos de enero a marzo y de junio a agosto.

En general la zona corresponde, según el sistema de clasificación Holdridge utilizado en nuestro país, a la zona de vida del Bosque húmedo pre- montano, (bh- PM), caracterizado por temperaturas medias de 20°C y una precipitación media de 1200 mm, con un exceso de

humedad para la mayor parte del año a excepción de los meses de junio y julio que muestra un déficit de humedad.

De acuerdo con el EsIA existente de la alternativa corte-relleno, la pérdida de la cobertura arbórea de la mayor parte de las laderas, incrementó la humedad de los suelos y junto con las condiciones hidrogeológicas locales, con una tabla de agua superficial, se explican los procesos de reptación (tipo de corrimiento del suelo, provocado de la inestabilidad del talud y la gravedad) que afectan en diferentes grados de intensidad la mayor parte de las laderas de este sector. A partir de este proceso de saturación y pérdida de resistencia a nivel de la estructura de los suelos, se han movilizado los horizontes de roca meteorizada dando lugar a procesos superficiales.

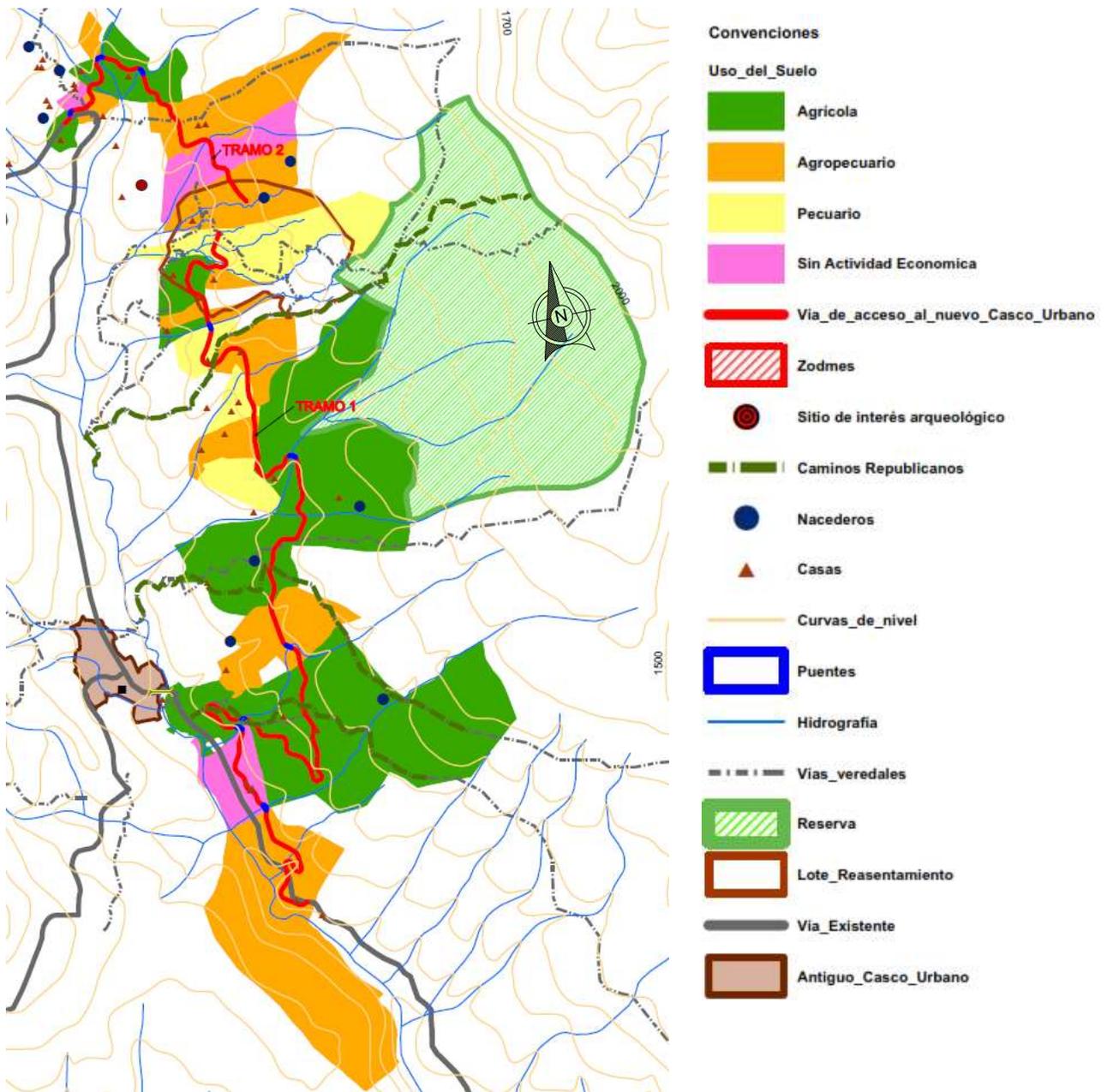


Figura 15. Usos del suelo del AID del proyecto.
Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

4.1.1.6 Hidrogeología.

El caso de estudio se encuentra localizado en un sector compuesto por una secuencia de areniscas y recubrimientos coluviales, en los que se desarrollan los siguientes tipos de acuíferos:

- Acuíferos Confinados: Estos se encuentran localizados en areniscas fracturadas, lo cual hace que sus flujos ocurran a lo largo de las discontinuidades aflorando sobre los taludes naturales en forma de manantiales pequeños.
- Acuíferos libres: Estos se encuentran ubicados en la zona de coluviones y se forman a partir de la infiltración de aguas lluvias; el caudal de estos es bajo debido a la erosión, la cual ha dejado expuesto el contacto entre las areniscas y las líneas de flujo.

En la figura 16, se aprecia la localización de los acuíferos confinados y libres, con respecto a la localización del corredor vial.

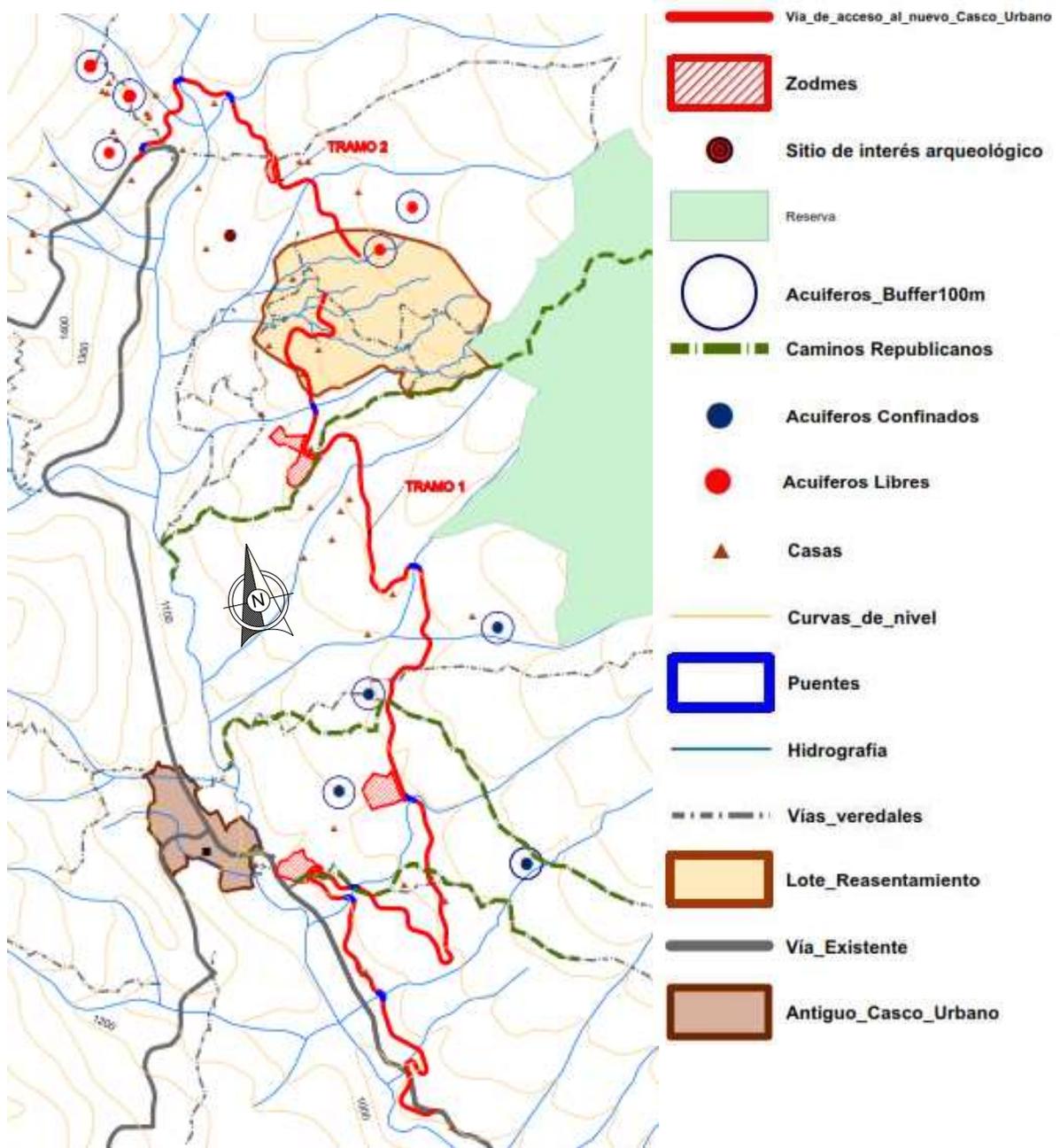


Figura 16. Localización de acuíferos confinados y libres

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

4.1.1.7 Aire

El área en la cual se desarrolla el proyecto vial, corresponde a una zona netamente rural, en la cual únicamente se practican actividades ganaderas y agrícolas, que no generan condiciones que afecten la calidad del aire y niveles de ruido de manera representativa. Por lo tanto, en el EsIA existente no se realizaron mediciones de calidad de aire y se asumieron los estándares consignados en la resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio Nacional).

4.1.2 Medio Biótico

4.1.2.1 Fauna.

La fauna presente en la zona correspondiente al caso de estudio se clasificó en avifauna, mamíferos y herpetofauna.

A continuación se presentan los aspectos más relevantes de cada tipo de especie, de acuerdo con la información contenida en el EsIA existente.

Avifauna. En el EsIA existente se estableció la presencia de rutas migratorias continentales, en donde se hace especial énfasis sobre la aves migratorias, por tener alta dependencia de hábitat, ya que cada año regresan a las mismas zonas donde encontraron refugio y alimento la temporada anterior y cualquier alteración puede ocasionar la muerte de miles de especímenes, al no encontrar un lugar para proveerse de alimento después de un largo viaje desde el norte del continente.

Mamíferos. Para las áreas de interés, en la elaboración del EsIA existente se identificaron 21 especies distribuidas dentro de 10 familias y 6 órdenes, en donde existió predominancia de la familia *Chiroptera* (Murciélagos) con 11 especies. Las otras familias están representadas por una, dos o tres especies y son *Didelphimorphia* (Faras o chuchas), *Cingulata* (Armadillos), *Pilosa* (Osos hormigueros), *Carnivora* (Puma, Comadreja y Zorro perruno) y *Rodentia* (Roedores).

Con respecto a la preferencia de hábitat, se encontró que el 19% de los individuos observados prefieren ambientes boscosos de zona tropical (Bosque Tropical), incluyendo

Murciélagos, roedores y felinos, los cuales se refugian en ambientes que proporcionan comida y albergue constante.

En relación a la presencia de especies amenazadas o con algún grado de riesgo se encontró que para el momento del muestreo 5 especies de las 21 identificadas se encuentran reportadas en listados de especies amenazadas; sin embargo, todas estas tienen una clasificación de preocupación menor en la lista roja de especies amenazadas.

Herpetofauna. En el EsIA existente se determinó que el 65% de los individuos identificados corresponden a los anfibios (sapos y ranas) y que el 35% son reptiles (lagartos y serpientes). De esta manera se logró establecer que el orden *Squamata* tiene el mayor número de familias con seis y que *Anura* los supera con 13 familias.

Con respecto a la presencia de especies amenazadas o con algún grado de riesgo, en el EsIA existente se encontró que al momento de realización de muestreo, 6 especies se encontraron reportadas con algún grado de amenaza. Al igual que para el caso de los mamíferos, todas las especies amenazadas tienen una clasificación de preocupación menor en la lista roja de especies amenazadas.

4.1.2.2 Flora.

Cobertura vegetal. La cobertura vegetal es un atributo físico del territorio que desempeña un papel fundamental tanto en el desarrollo de los ecosistemas y en la biodiversidad asociada en las especies (con sus respectivas abundancias), como en los procesos culturales de la comunidad. En el contexto específico del caso de estudio, su efecto principal es la atenuación de procesos morfodinámicos que conlleven a amenazas naturales y el control de la mayor parte de las variaciones en el estado del tiempo. Tal y como se explicó en el numeral 4.3.1.5 “clima”, la pérdida de cobertura arbórea contribuye al aumento de la humedad en el suelo y por ende, aumenta el riesgo de remoción.

Para el AID, según el EsIA existente se identificaron 18 tipos de cobertura definidas en la metodología CORINE Land Cover³, adaptada para Colombia, agrupadas en 4 grandes

³ El programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea, fue desarrollada una metodología específica para realizar el inventario de

grupos, de los cuales el predominante fue el de “Bosques y áreas seminaturales”, con el 66.8% de las coberturas; dentro de este, la mayor cobertura es Bosque abierto alto de tierra firme. En representatividad, el segundo grupo corresponde al de “Territorios agrícolas” con el 31.6% (dentro de este grupo la categoría más importante es Pastos limpios, seguida por pastos arbolados y pastos enmalezados, respectivamente). El tercer grupo es el de “Territorios artificializados” en el cual se incluye el área dispuesta para el reasentamiento de la población, que da origen al caso de estudio.

En la tabla 12, se presenta la clasificación de las diferentes coberturas identificadas en el AID, de acuerdo con el EsIA existente y en la Figura 17 se presenta el mapa de cobertura vegetal para el AID del proyecto.

Tabla 12. Clasificación de coberturas vegetales

Bosques y áreas seminaturales	Arbustal abierto
	Vegetación secundaria alta
	Vegetación secundaria baja
	Bosque abierto alto de tierra firme
	Bosque abierto bajo de tierra firme
	Bosque de galería y ripario
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
	Bosques fragmentado con cultivos y pastos
	Tierras desnudas y degradadas
Territorios agrícolas	Cultivos arbustivos
	Cultivos permanentes herbáceos
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
	Mosaico de pastos con espacios naturales
	Pastos arbolados
	Pastos enmalezados
Pastos limpios	
Territorios artificializados	Tejido urbano continuo
Superficies de agua	Lagunas lagos y ciénagas naturales

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

la cobertura de la tierra. Actualmente su base de datos constituye un soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial.

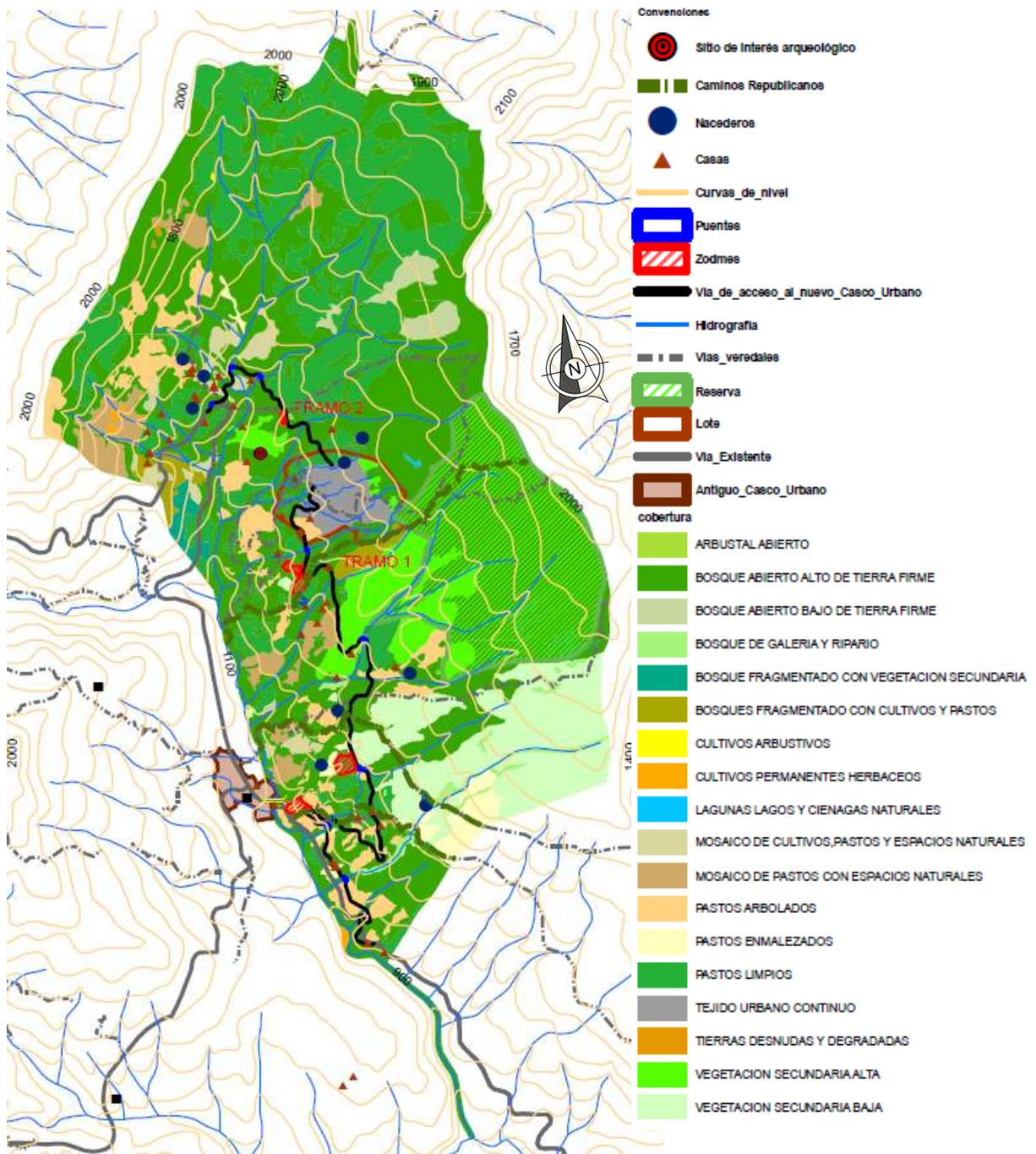


Figura 17. Mapa de cobertura vegetal

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

En resumen, en la cobertura vegetal asociada al AID del caso de estudio, predominan como ecosistemas naturales los bosques abiertos altos de tierra firme y como ecosistemas intervenidos para usos productivos, los pastos en diferentes combinaciones. En el EsIA existente se concluye que la cobertura vegetal corresponde a una cobertura irregular, debido a la alteración ocasionada al terreno por el alto grado de transformación antrópica para las actividades agrícolas y pecuarias.

Fragmentación de ecosistemas. A través del software ArcGIS 10.1, en el EsIA existente se calcularon los índices de contexto paisajístico. El índice de contexto paisajístico se refiere a la continuidad del paisaje boscoso y de manera paralela apoyado en la cartografía disponible del aumento en el número de fragmentos de bosque. Los valores cercanos a 1, representan un mejor contexto paisajístico y por tanto una mayor conectividad entre los fragmentos.

En el caso de estudio, los valores se alejan de 1, ya que todos oscilan entre 0.004 y 0.365, lo cual indica una baja conectividad entre los segmentos por los cuales se desarrolla el trazado del corredor vial.

En el mapa se identificaron 6 segmentos de vegetación natural, que serán cortados por la vía. Sin embargo, según el EsIA existente, por efectos de la baja continuidad en los segmentos a fraccionar y una alta intervención por potrerización en el área de estudio, no se generaría un impacto significativo por fragmentación del ecosistema.

Composición florística.

- Estructural horizontal. El inventario realizado en el EsIA existente arrojó 2176 individuos en estado fustal ($DAP^4 > 10$ cm), distribuidos en 95 especies y 43 familias. De los cuales el mayor porcentaje (65%) se encuentra entre los 10 y 20 cm.
- Coeficiente de mezcla. El coeficiente de mezcla se obtiene al establecer la relación entre el número de especies y el total de individuos. Según los resultados del inventario forestal dentro del EsIA existente, por cada 25

⁴ Diámetro a la altura del pecho.

individuos muestreados cabe la posibilidad de encontrar una especie nueva (CM = $95 / 2176 = 0.044$). Por lo anterior, se determina que en el área de estudio existe tendencia a la homogeneidad.

- Estructura vertical. La distribución respecto a las categorías de altura de los árboles inventariados en el área de intervención, tiene el 35% de los individuos con alturas entre 8 y 13 metros, otro 35% con alturas superiores a 13 metros y el 30% con alturas entre 3 y 8 metros.

Especies vedadas, endémicas, amenazadas y en peligro crítico. De la totalidad de especies muestreadas en el EsIA existente, se encontró que solamente 2 especies presentan algún grado de amenaza de acuerdo a la resolución 0192 de 2014, como se relaciona en la tabla No 13.

Tabla 13. Especies de flora con algún grado de amenaza

Nombre común	Nombre científico	Familia	Categoría de amenaza	Procedimiento recomendado
Cedro rosado	<i>Cedrela odorata L.</i>	MELIACEAE	En peligro	Bloqueo y traslado
Palma boba	<i>Cyathea caracasana</i>	CYATHEACEAE	Vulnerable	Bloqueo y traslado

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

4.1.3 Medio Socioeconómico

4.1.3.1 Componente demográfico.

La población presente en el área de influencia, se encuentra compuesta en un 48.3% por mujeres y en 51.7% por hombres; esta proporción se mantiene en los diferentes grupos etarios. Por efectos de construcción del proyecto no se desplazará población, aunque si se generará afectación predial.

De los diferentes grupos etarios el más representativo es el de personas en edad adulta (41 a 60 años), con el 24.27%. El rango en el que menos habitantes se registran es el de jóvenes de 20 a 26 años. Según el EsIA existente, esto se explica en el hecho de que estas personas dejan la zona al momento que cumplen una edad suficiente para buscar nuevas oportunidades de educación y trabajo; fenómeno conocido como “expulsión demográfica”.

Es de mencionar que en el AID no se encuentran comunidades étnicas. Dicha situación se encuentra certificada por el Ministerio del Interior.

4.1.3.2 Componente espacial.

Este atributo se encuentra totalmente alterado debido a la destrucción del casco urbano de la población sobre la cual se basa el caso de estudio. El objetivo principal del Gobierno Nacional con la realización del macro proyecto de reasentamiento es precisamente devolver a la población afectada las condiciones que gozaban anteriormente, pero en condiciones de igualdad social.

El tramo de vía a analizar se encuentra dentro del marco de un macro proyecto que en términos generales incluye la construcción de la infraestructura necesaria para la comunidad, incluyendo vías de acceso, espacio público urbano, equipamiento urbano (i.e. un colegio, una estación de policía, un hospital, la Alcaldía y una plaza de mercado, entre otros), infraestructura de servicios públicos y vivienda.

4.1.3.3 Componente social.

El antiguo casco urbano constituía un escenario en el que se desarrollaban actividades comerciales, religiosas y culturales; adicionalmente, se prestaban servicios de salud, educación y otros servicios de carácter administrativo a los habitantes del sector urbano, rural y de poblaciones cercanas.

4.1.3.4 Arqueología.

A partir del análisis de información secundaria y de la implementación de un plan de prospección en campo, en el EsIA real se evaluó la presencia de evidencias arqueológicas, para determinar el potencial arqueológico y por ende cumplir con la Reglamentación Colombiana respecto a la protección del Patrimonio Cultural Arqueológico de la Nación, como resultado se tiene el registro de 3 caminos republicanos, procedentes del periodo de fines de la Colonia a inicios de la Republica (1810 – 1840).

En la figura 18, se muestran los caminos republicanos y el sitio de interés arqueológico hallados en el EsIA real.

4.2 Zonificación Ambiental

Al igual que para el área de influencia, para efectos de este trabajo se tomó la zonificación ambiental establecida en el EsIA existente, la cual se describe a continuación.

La metodología implementada en el EsIA existente para el establecimiento de la zonificación ambiental se desarrolló en tres pasos, a saber: determinación de unidades de zonificación, criterios de zonificación por sensibilidad de las unidades; y categorías de intervención.

4.2.1 Unidades de zonificación.

La determinación de estas zonas dentro del EsIA existente se realizó mediante la superposición de las siguientes características del AID: i) nacimientos de agua y sus zonas de protección; ii) rondas hídricas y sus zonas de protección; iii) áreas de interés arqueológico (caminos republicanos); iv) nivel de amenaza alta por remoción en masa; v) instituciones y centros educativos; vi) viviendas; vii) zonas de albergues; viii) reservas naturales; xi) cuerpos de agua; x) bosques altos; xi) bosques de galería y riparios; xii) vegetación secundaria; y xiii) áreas de producción económica (en las que se desarrollan las actividades de agricultura y ganadería).

4.2.2 Criterios de zonificación.

Como criterio de zonificación, en el EsIA existente se adoptó la sensibilidad ante factores externos. En la tabla 14 se describen los diferentes niveles de sensibilidad, según estos criterios.

Tabla 14. Criterios de Zonificación Ambiental

Grado de sensibilidad	Descripción	Unidades a las que aplica
Muy alto	Zonas que por sus características físicas, bióticas o sociales son únicas o han sido declaradas o consideradas como áreas de preservación y conservación, ya sea mediante actos administrativos o por entes particulares o privados, también aquellas establecidas en la normatividad ambiental de superior jerarquía	<ul style="list-style-type: none"> - Reservas naturales - Nacederos de agua - Rondas hídricas - Cuerpos de agua
Alto	Zonas que por su importancia ambiental, cultural, funcionalidad ambiental y generación de bienes y servicios ambientales deben ser conservadas, y que no necesariamente hayan sido declaradas en alguna categoría de protección, al igual que áreas de potenciales amenazas que pudieran ser mitigables con el desarrollo mismo del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de interés arqueológico - Bosques altos o áreas de vegetación en el mejor estado de conservación identificadas en la cobertura vegetal - Bosques de galería y riparios - Áreas de amenaza alta local
Medio	Zonas que no se encuentran o no han sido declaradas o consideradas como áreas de preservación y conservación y que pueden ser objeto de cambios en sus usos por causa de los factores externos. Presencia de viviendas, instituciones, etc. Y aquellas zonas donde la vegetación de tipo natural ha sido intervenida pero no se han generado territorios artificializados o actividades productivas.	<ul style="list-style-type: none"> - Albergues - Viviendas - Instituciones - Vegetación secundaria - Arbustales
Bajo	Zonas sin categorías de amenazas, zonas que se encuentren totalmente intervenidas y áreas de intervención inminentes en proyectos conexos con la construcción de la vía.	<ul style="list-style-type: none"> - Agroecosistemas - Sitio de construcción del nuevo casco urbano de la población a reasentar

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio.

4.2.3 Categorías de intervención.

Como resultado de la zonificación ambiental del proyecto, en el EsIA existente se definieron las siguientes áreas:

4.2.3.1 Áreas de no intervención o de exclusión.

Estas áreas, poseen un grado de sensibilidad de “muy alta”; son proyectadas de acuerdo al EOT, incluyen ecosistemas estratégicos, de gran fragilidad y de considerable importancia, ya que prestan servicios ambientales actuales y potenciales, aportando al mantenimiento de la biodiversidad regional.

El área de exclusión corresponde a 791.09 ha de muy alta sensibilidad ambiental, que corresponde alrededor del 20% del AID.

4.2.3.2 Áreas de intervención con restricciones.

De acuerdo con el EsIA existente, estas áreas corresponden a las de baja potencialidad ecosistémica por su estado de desarrollo, de acuerdo a los criterios descritos en la tabla 15 y se incluyeron los segmentos de las rondas hídricas que son seccionados por el trazado de la vía, toda vez que el otorgamiento de la licencia ambiental incluiría la ocupación o intervención de los cauces específicos con puentes o con obras de arte.

El área de intervención con restricciones tiene una extensión de 1716.44 ha de alta y media sensibilidad ambiental. Es la extensión más representativa de la zonificación, representando casi un 50% de la misma.

4.2.3.3 Áreas de Intervención.

Áreas que pueden ser intervenidas directamente, cumpliendo con las normas ambientales y el trámite de los permisos respectivos a que haya lugar. Incluye territorios agrícolas y los bosques fragmentados con cultivos y pastos.

El área de intervención se extiende a 1200.74 ha de baja sensibilidad ambiental y abarca cerca del 30% del AID.

Tabla 15. Resultados de la zonificación ambiental

Criterios de zonificación	Zonificación ambiental	ha	Zonificación de manejo ambiental	ha	% Área
Nacederos Reserva Natural Rondas hídricas	Muy alta sensibilidad	803,57	Área de no intervención	791,09	21,33
Bosques altos y vegetación natural Zonas de interés arqueológico Bosques de galería y ripario Zonas de amenaza alta (local) Albergues Viviendas Instituciones Vegetación secundaria Arbustales	Alta sensibilidad	1283,76	Área de Intervención con restricciones	1716,44	46,29
Zonas de producción económica Perímetro área de construcción del casco urbano para el reasentamiento	Baja sensibilidad	1200,78	Área de intervención	1200,74	32,38
Total				3708,27	100

Fuente: Consultor de estudios y diseños del caso de estudio.

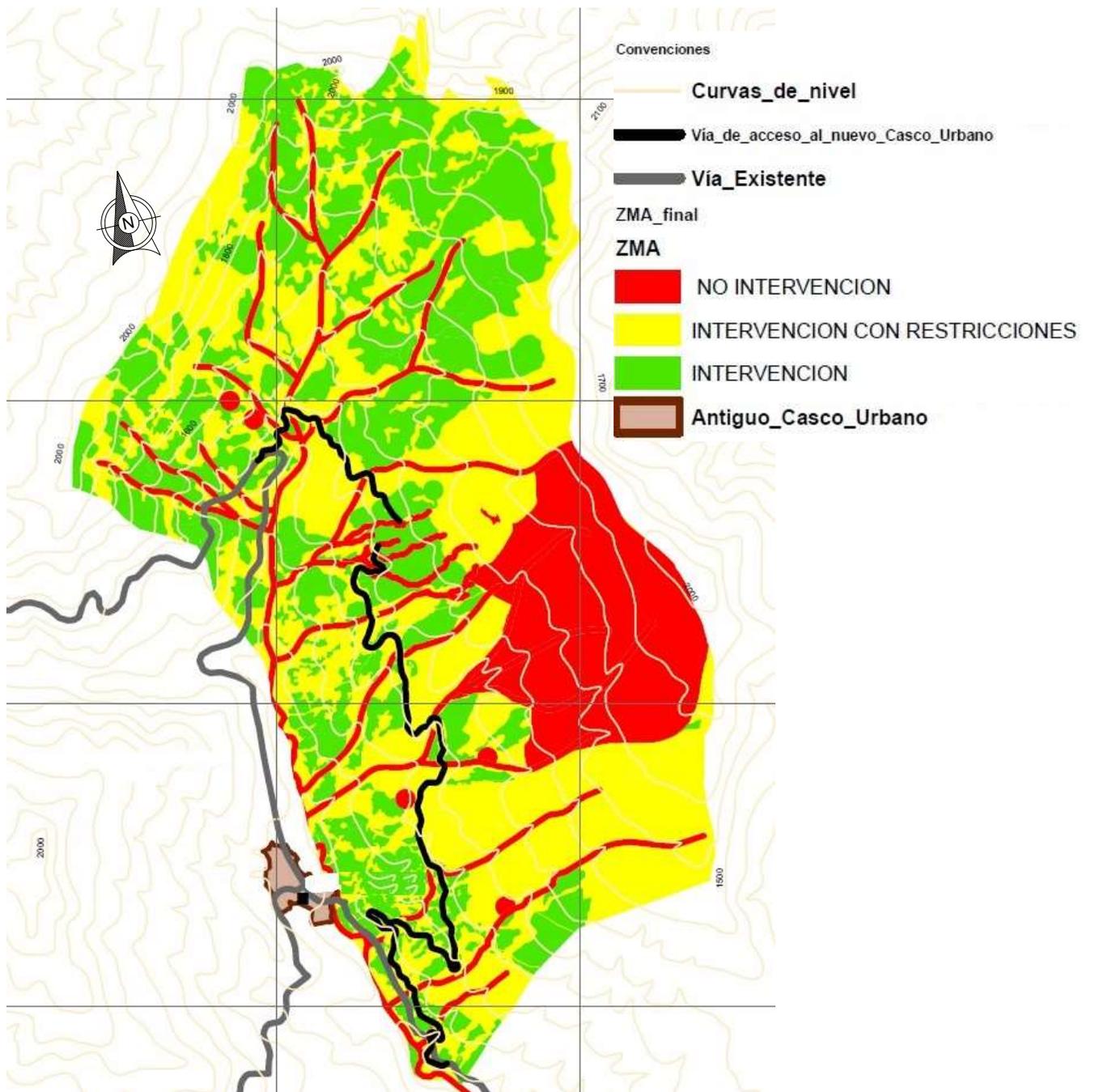


Figura 19. Zonificación ambiental del proyecto.

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

5. Demanda de Recursos Naturales

En el presente capítulo se presenta la estimación de la demanda de recursos naturales asociada a la construcción de cada alternativa analizada.

5.1. Alternativa Corte – Relleno

5.1.1. Recurso agua

Se requiere del aprovechamiento de aguas superficiales para la preparación de concretos de estructuras menores (cunetas en zanjas de coronación y concreto de limpieza), humedecimiento de materiales granulares durante su compactación, empedradización de taludes, adecuación de depósitos e instalación de anclajes. Algunas consideraciones para la estimación de la demanda de este recurso incluyen:

- El agua para consumo humano será transportada desde la Ciudad más cercana en botellones comerciales.
- Para el aprovechamiento requerido se plantea la instalación de puntos de captación sobre las quebradas que atraviesan el proyecto.
- El proyecto no requiere captación de aguas subterráneas, dado que con la captación de corrientes superficiales se suplen las necesidades del proyecto.
- De acuerdo con el EsIA existente, se tiene previsto el manejo de aguas residuales a través de unidades sanitarias portátiles.
- Debido al paso sobre cuerpos de agua, se demandará ocupación permanente de cauces en 4 puntos, afectando 4 fuentes hídricas.

A continuación se presentan las cantidades de agua a captar requeridas para la alternativa de corte-relleno, durante la etapa de construcción.

Tabla 16. Volumen de agua superficial requerida en la Alternativa Corte - Relleno

Destino de la Captación	Volumen (m³)
Concreto para obras menores	107.02 m ³
Empradización de taludes	694.98 m ³
Adecuación de Zodmes	36.533,90 m ³
Compactación de materiales granulares	12.742,44 m ³
Construcción de Anclajes en Muros	5.441,33 m ³
Total	55.519,67 m³

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

5.1.2. Extracción de materiales granulares

Las fuentes de materiales de las cuales se extraerán los materiales granulares para composición de la estructura del pavimento, corresponden a canteras de terceros autorizadas previamente por la autoridad ambiental, para comercialización en la zona.

A continuación se relacionan las cantidades de materiales granulares requeridas para construcción de la alternativa de corte-relleno.

Tabla 17. Volumen de material granular requerido en la alternativa Corte - Relleno

Capa a conformar	Volumen (m³)
Terraplenes	70.363,53 m ³
Pedraplen compacto	5.687,25 m ³
Base Granular	14.271,44 m ³
Subbase Granular	19.704,05 m ³
Rellenos para estructuras	1.848 m ³
Material filtrante	11.538,12 m ³
Reconformación de terreno	21.385,76 m ³
Total	123.797,26 m³

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Como se describe en el Capítulo 2, el volumen de excavación corresponde a 451.161,30 m³.

5.1.3. Aprovechamiento Forestal

Para la alternativa de corte-relleno se tiene proyectado realizar aprovechamiento forestal de las especies de fauna presentes en un ancho de 10 metros (aproximadamente) a cada lado del eje del corredor, así como de los individuos existentes en los zodmes (botaderos).

A continuación se relaciona el número de individuos arbóreos afectados.

Tabla 18. Número de Individuos arbóreos afectados en la Alternativa Corte - Relleno

Causa de afectación	Número de Individuos afectados
Construcción corredores viales	1.840
Conformación de zonas de depósito	901
Total	2.741

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

5.1.4. Materiales para Construcción

A continuación se presenta un resumen de la estimación de cantidades de los materiales más representativos que se requieren para la construcción de la alternativa de corte – relleno.

Tabla 19. Materiales de construcción más representativos en la alternativa Corte - Relleno

Material	Cantidad
Materiales granulares	123.797,26 m ³
Concreto	28.826,22 m ³
Acero	1.508.098,57 kg
Mezcla asfáltica	6.995, 87 m ³

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

5.2. Alternativa en Viaducto

5.2.1. Recurso Agua

Para esta alternativa se plantea el aprovechamiento de aguas superficiales para humedecimiento de materiales granulares durante su compactación y adecuación de depósitos.

Al igual que para la alternativa de corte relleno, para la alternativa en viaducto se realizan las siguientes suposiciones:

- El agua para consumo humano transportada desde la Ciudad más cercana en botellones comerciales.
- Para el aprovechamiento requerido se plantea la instalación de puntos de captación sobre las quebradas que atraviesan el proyecto.
- No se realizaría captación de aguas subterráneas, dado que con la captación de corrientes naturales se suplen las necesidades del proyecto.
- Manejar las aguas residuales a través de unidades sanitarias portátiles.

A continuación se presenta la estimación del volumen de agua a captar requerido para la construcción de la alternativa de viaducto planteada.

Tabla 20. Estimación del volumen de agua superficial requerido en la construcción de la Alternativa en Viaducto.

Destino de la Captación	Volumen (m³)
Adecuación de Zodmes	1.347
Compactación de materiales granulares	220
Total	1.567

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Extracción de materiales granulares

Las fuentes de materiales de las cuales se extraerían los materiales granulares para conformación de la estructura del pavimento, corresponden a canteras de terceros autorizadas previamente por la autoridad ambiental, para comercialización en la zona.

A continuación se relacionan las cantidades de materiales granulares requeridas para construcción de la alternativa.

Tabla 21. Volumen de material granular requerido en la Alternativa en Viaducto

Capa a conformar	Volumen (m³)
Base Granular	209
Subbase Granular	278 m
Rellenos para estructuras	1.350
Total	1.837

Fuente: Elaboración propia.

El volumen de excavación total estimado para esta alternativa es de 61.088,75 m³.

5.2.3 Aprovechamiento Forestal

Esta alternativa demanda el aprovechamiento forestal de las especies presentes en los sitios de implantación de la cimentación de las pilas del viaducto, en los sitios donde se deban realizar cortes y en la zona dispuesta para conformación del depósito.

A continuación se relaciona el número de individuos que se estima se verían afectados por la construcción de esta alternativa.

Tabla 22. Número de Individuos afectados en la Alternativa en Viaducto

Actividad	Número de Individuos afectados
Construcción corredores viales	68
Conformación de zonas de deposito	123
Total	191

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Materiales para Construcción

A continuación se presenta un resumen de las cantidades estimadas de materiales requeridos más representativos para la construcción de la alternativa en viaducto.

Tabla 23. Materiales de construcción más representativos en la alternativa en Viaducto

Material	Cantidad
Materiales granulares	1.837 m ³
Concreto	157.894 m ³
Acero	13.363.423 kg
Mezcla asfáltica	3.450 m ³

Fuente: Elaboración propia.

La demanda de energía no se incluyó dentro de este análisis dada la dificultad en su determinación, ya que esta se obtendrá de combustibles fósiles para el funcionamiento de la maquinaria; situación que hace del cálculo algo subjetivo y con un bajo nivel de confiabilidad.

Con el fin de obtener elementos de comparación entre las alternativas en cuanto a demanda de recursos naturales y materiales de construcción, a continuación se presenta un cuadro comparativo de necesidades por kilómetro construido:

Tabla 24. Comparación de demanda de recursos naturales y materiales de construcción

Recurso/material	Corte relleno	Viaducto
Agua (m ³)	55.520	1.567
Excavación (m ³)	451.161	61.089
Materiales granulares (m ³)	123.797	1.837
Concreto (m ³)	28.862	157.894
Mezcla asfáltica (m ³)	6.996	3.450
Acero (Tn)	1.508.098	13.363.423
Árboles afectados (Un)	2.741	191

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos resultados:

- La construcción de la alternativa corte-relleno demanda 35 veces más agua, 67 veces más materiales granulares y el doble de mezcla asfáltica, con respecto a la alternativa de viaducto.
- La construcción de la alternativa de viaducto demanda casi 6 veces más concreto y 9 veces más acero que la alternativa de corte-relleno.
- La cantidad de especies arbóreas afectadas por la construcción de la alternativa de corte relleno es significativamente mayor con respecto a la alternativa de viaducto, con 2741 y 191 especies afectadas respectivamente.

6. Evaluación de Impactos Ambientales

En este capítulo se presenta una síntesis de la evaluación de impactos ambientales – EvIA contenida en el Estudio de Impacto Ambiental – EsIA existente para la alternativa corte-relleno, así como una descripción de la metodología implementada. Posteriormente, se presenta la EvIA realizada para la alternativa de viaducto, siguiendo la metodología implementada en el estudio existente. Al conservar un trazado geométrico similar en planta al de la alternativa de viaducto, es posible realizar la EvIA para esta última partiendo de la misma AID, sectorización ambiental y EvIA sin proyecto del estudio existente.

Al igual que para el EsIA de la alternativa corte - relleno, la EvIA elaborada para la alternativa de viaducto es de carácter cualitativo. Las suposiciones realizadas para la valoración de los impactos ambientales se basaron en los criterios y demás información contenida en el EsIA real. Con el objeto de reducir el nivel de subjetividad de las suposiciones realizadas, al finalizar este capítulo se presenta un análisis de sensibilidad, revisando las suposiciones realizadas en aquellos puntos que revisten mayor grado de subjetividad (e.gr. percepción de la afectación paisajística).

A continuación se presenta una breve descripción de la metodología de EvIA implementada.

6.1 Metodología para la Evaluación de Impactos Ambientales

Para la EvIA existente se utilizó una metodología elaborada por Alejandrina Vanegas con adaptaciones de la Universidad de Cartagena. Esta metodología se fundamenta en la propuesta de Conesa – Fernández, la cual a su vez se basa en el método de las matrices “Causa – Efecto”, utilizando resultados cualitativos que siguen la metodología de Leopold, y resultados cuantitativos basados en la metodología del Instituto Batelle – Columbus. No obstante, la metodología empleada en la EvIA existente no incluye valoración cuantitativa.

A continuación se describen las etapas en las que se fundamenta la metodología implementada para la EvIA.

6.1.1 Análisis general del proyecto

Inicialmente se realiza un reconocimiento del proyecto, con el objeto de identificar su localización y la naturaleza de las actividades asociadas a cada etapa, insumo fundamental para la identificación y valoración de impactos ambientales. Teniendo en cuenta el alcance de este proyecto, únicamente se consideraron las actividades asociadas a la etapa de construcción del tramo vial.

6.1.2 Identificación de Impactos Ambientales

La identificación de impactos ambientales en el EsIA existente se realizó a través de una matriz causa – efecto, relacionando en las columnas las actividades asociadas a cada etapa del proyecto y en las filas, los componentes ambientales, seguidos de los impactos potenciales sobre cada uno. Lo anterior permite establecer las relaciones “actividad – impacto”, como se observa en la Figura 20.

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO No.	IMPACTOS	ETAPA					Sumatoria	Frecuencia	Clasificación de
				Actividad 1	Actividad 2	Actividad 3	...	Actividad n			
			Sumatoria								
			Frecuencia								
			Clasificación de actividades								

Figura 20. Matriz de identificación de impactos

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Las casillas en donde se identifican cruces actividad-impacto se marcan, asignando un valor de 1 si el impacto es positivo, -1 si es negativo y 0, si no existe relación actividad – impacto. La matriz resultante puede ser analizada en sentido horizontal y vertical, brindando información acerca de las actividades con mayor número de impactos asociados (análisis vertical), lo cual resulta útil para establecer una primera aproximación y enfocar las acciones a implementar en el plan de manejo ambiental. Del análisis horizontal se puede establecer la recurrencia de cada impacto, a raíz de la ejecución de las actividades en cada

etapa. En las tablas 25 y 26, se presentan los rangos de clasificación establecidos en la metodología implementada para el análisis vertical y horizontal de las actividades identificadas e impactos asociados.

Tabla 25. Clasificación por frecuencia de generación de impacto (Análisis Horizontal)

Frecuencia	Rango de valores (Ocasiones en las que se genera el impacto / Cantidad de actividades)	
	De	A
Recurrente	0.67	1.00
Ocasional	0.34	0.66
Aislado	0.00	0.33

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 26. Clasificación de actividades de acuerdo a la generación de impactos ambientales (Análisis Vertical)

Tipo de Actividad	Rango de valores (Cantidad de impactos generados por la actividad / Cantidad de impactos identificados en el proyecto)	
	De	A
De alto impacto	0.67	1.00
De impacto moderado	0.34	0.66
De bajo impacto	0.00	0.33

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Dentro de las limitaciones identificadas en esta metodología se encuentra que ésta no permite establecer relaciones entre impactos (i.e. identificación de impactos secundarios) y no permite asegurar por sí misma que queden impactos sin identificar.

6.1.3 Valoración de impactos ambientales

Una vez obtenida la matriz causa – efecto en la identificación de impactos ambientales, se conforma la matriz de importancia, en donde se realiza la valoración cualitativa en función de los atributos del impacto ambiental (importancia absoluta), para cada una de las casillas de cruce en donde existen relaciones actividad – impacto. Esto se realiza a partir de la

valoración de diferentes atributos del impacto ambiental, para lo cual se asumieron las escalas de valoración relacionadas en la tabla 27.

Tabla 27. Criterios, escalas y rangos de valoración de impactos

Criterio	Descripción y puntuación	Rango para asignación de escala⁵
Extensión (Ex)	Mide el impacto de acuerdo con su extensión en el entorno considerado	
	Escala de Valoración:	
	Puntual: 1	Cuando la actividad se desarrolla en una extensión menor o igual al 10% del entorno considerado.
	Parcial: 2	Cuando la actividad se desarrolla en una extensión mayor al 10% y menor o igual al 30% del entorno considerado.
	Extensa: 4	Cuando la actividad se desarrolla en una extensión mayor al 30% del entorno considerado.
Momento (Mo)	Es el tiempo transcurrido entre la ejecución la actividad y el de manifestación del impacto.	
	Escala de Valoración:	
	Largo Plazo: 1	Cuando el impacto se genera después de 5 años desde la ejecución de la actividad.
	Mediano Plazo: 2	Cuando el impacto se manifiesta antes de 5 años desde la ejecución de la actividad.
	Inmediato: 4	Cuando el impacto se manifiesta de manera inmediata con respecto a la ejecución de la actividad.
Reversibilidad (Rv)	Es la posibilidad de recuperación del elemento que ha sido afectado por una actividad determinada, recuperando sus condiciones iniciales por medio natural.	

⁵ Dado que en el EsIA existente estos rangos no se especifican, para la EvIA de la alternativa en viaducto éstos fueron asumidos, buscando consistencia con las valoraciones del EsIA existente.

Criterio	Descripción y puntuación	Rango para asignación de escala⁵
	Escala de Valoración:	
	Corto Plazo: 1	Cuando la recuperación del elemento afectado puede darse antes de 1 año de ejecutada la actividad.
	Mediano Plazo: 2	Cuando la recuperación del elemento afectado puede darse entre 1 y 10 años de ejecutada la actividad.
	Irreversible: 4	Cuando la recuperación del elemento afectado no puede darse antes de 10 años.
Recuperabilidad (Mc)	Es la posibilidad de un elemento para recuperar sus condiciones iniciales por medio de la intervención humana.	
	Escala de Valoración:	
	Recuperabilidad Inmediata: 1	Cuando la recuperación del elemento afectado se da de manera inmediata una vez ejecutada la actividad.
	Recuperabilidad a mediano plazo: 2	Cuando la recuperación del elemento afectado puede darse antes de 5 años de ejecutada la actividad.
	Irrecuperable: 4	Cuando la recuperación del elemento afectado no puede darse una vez realizada la actividad.
Sinergia (Si)	Se presenta cuando el impacto de dos acciones que actúan simultáneamente es mayor que el provocado por acciones que actúan de modo independiente.	
	Escala de Valoración:	
	Sin Sinergismo: 1	Cuando solo una acción o actividad genera cambios en el medio o elemento evaluado.
	Sinérgico: 2	Cuando 2 o 3 actividades generan cambios de manera simultánea en el medio o elementos evaluados, alterando en mayor proporción los parámetros de medición.
	Muy Sinérgico: 4	Cuando 4 o más actividades generan cambios de manera

Criterio	Descripción y puntuación	Rango para asignación de escala⁵	
		simultánea en el medio o elementos evaluados, alterando en mayor proporción los parámetros de medición.	
Acumulación (Ac)	Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del impacto, cuando se repite en forma continua la acción que lo genera.		
	Escala de Valoración:		
	Simple: 1		Cuando la actividad no genera un impacto acumulado sobre el medio o elemento evaluado.
	Acumulativo: 4	Cuando la actividad genera un cambio drástico o la pérdida total en el tiempo, sobre el medio o elemento evaluado.	
Efecto (Ef)	Representa la manifestación del efecto sobre un elemento, como consecuencia de una actividad.		
	Escala de Valoración:		
	Indirecto o secundario: 1		
	Directo o primario: 4		
Periodicidad (Pr)	Indica la manifestación del efecto en el tiempo si es cíclica (efecto periódico), impredecible (Efecto irregular) concertante (efecto continuo)		
	Escala de Valoración:		
	Efecto irregular Discontinuo: 1		Cambios generados al medio o elemento evaluado por una eventualidad o por una acción sin continuidad en el tiempo.
	Efecto periódico: 2		Cambios generados al medio o elemento evaluado de manera periódica.
	Efecto Continuo: 4	Cambios permanentes en el medio o elemento evaluado.	

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

La ecuación por medio de la cual se establece la importancia del impacto (II) es la siguiente:

Ecuación1. Cálculo de la importancia del impacto

$$II = (Ex + Mo + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc)$$

Para clasificar los impactos según su importancia se utilizan los rangos relacionados en las tablas 28 y 29, para impactos negativos y positivos, respectivamente.

Tabla 28. Clasificación de impactos negativos según su importancia

Tipo de Impacto Negativo	Rango de valores (Con respecto a la máxima probable, por actividad en el componente)
Severo	> 75%
Significativo	50 – 75%
Moderado	25 – 50%
Leve o Bajo	0 – 25%

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 29. Clasificación de impactos positivos según su importancia.

Tipo de Impacto Positivo	Rango de valores (Con respecto a la máxima Σ probable por impacto)
Altamente beneficioso	>66%
Moderadamente beneficioso	33 – 66%
Poco beneficioso	0 – 33%

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Dentro de las limitaciones identificadas en esta metodología de valoración se encuentra que ésta no permite establecer la importancia relativa del impacto ambiental, es decir, la importancia en función del medio afectado.

6.2 Evaluación Sin Proyecto

En la EvIA del escenario “Sin proyecto” realizada en el Es la existente, se tuvieron en cuenta las actividades que la población dentro del AID realiza de manera cotidiana para su desarrollo social, cultural y económico, incluyendo actividades asociadas a los sectores agricultura, ganadería, vivienda, institucional, educación y salud, recreación y deporte, así como captación de aguas, ocupación de cuerpos de agua y piscicultura. También se contempló una actividad impactante denominada *eventos naturales por activación de procesos geológicos*.

En el EsIA existente se identificaron 29 potenciales impactos asociados a estas actividades, lo cual fue realizado por un equipo interdisciplinario que tuvo a su cargo los Estudios y Diseños del caso de estudio. En las tablas 30 y 31 se presenta la síntesis de los resultados de la identificación de impactos ambientales para el escenario sin proyecto, dentro el EsIA existente.

Tabla 30. Clasificación de impactos de acuerdo a su recurrencia, escenario “Sin proyecto”.

Medio	Componente	No	Impacto	Recurrencia	Clasificación	
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	0,11	AISLADO	
		2	Alteración de los niveles de ruido	0,00	AISLADO	
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	0,22	AISLADO	
		4	Generación de Inestabilidad	0,33	OCASIONAL	
		5	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	0,33	OCASIONAL	
		6	Generación de procesos erosivos	0,33	OCASIONAL	
	AGUA	7	Cambios en la calidad del Agua	0,22	AISLADO	
		8	Alteración del régimen de caudales	0,22	AISLADO	
		9	Alteración del régimen sedimentológico	0,11	AISLADO	
		10	Alteración de la dinámica del cauce	0,00	AISLADO	
BIOTICO	FAUNA	11	Pérdida de fauna	0,56	OCASIONAL	
		12	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	0,67	RECURRENTE	
		13	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna, bentónicas y plantónica)	0,67	RECURRENTE	
		14	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0,44	OCASIONAL	
		FLORA	15	Pérdida de cobertura vegetal	0,56	OCASIONAL
			16	Fragmentación de hábitats	0,44	OCASIONAL
			17	Afectación del paisaje	0,67	RECURRENTE

Medio	Componente	No	Impacto	Recurrencia	Clasificación
SOCIO ECONOMICO Y CULTURAL	ECONOMIA E INFRAESTRUCTURA	18	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0,56	OCASIONAL
		19	Modificación predial	0,00	AISLADO
		20	Cambios en la movilidad	0,00	AISLADO
		21	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	0,11	AISLADO
		22	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	0,33	OCASIONAL
		23	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	0,11	AISLADO
		24	Generación de Riesgos de Accidentes	0,11	AISLADO
		25	Conflicto con la comunidad	0,00	AISLADO
		26	Generación de Expectativas	0,44	OCASIONAL
		27	Cambio en las condiciones culturales	0,11	AISLADO
		28	Cambio las relaciones sociales	0,11	AISLADO
	SOCIAL	29	Afectación al patrimonio arqueológico	0,56	OCASIONAL

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 31. Clasificación de actividades de acuerdo a sus impactos asociados, "Sin proyecto".

No	Actividad	Recurrencia de impactos	Clasificación de actividades
1	Agricultura	0.52	DE IMPACTO MODERADO
2	Ganadería	0.52	DE IMPACTO MODERADO
3	Vivienda	0.28	DE BAJO IMPACTO
4	Institucional, Educación y Salud	0.03	DE BAJO IMPACTO
5	Recreación y deporte	0.03	DE BAJO IMPACTO
6	Captación de aguas	0.38	DE IMPACTO MODERADO
7	Ocupación de cuerpos de agua	0.24	DE BAJO IMPACTO
8	Cría de peces	0.14	DE BAJO IMPACTO
9	Eventos naturales (Activación de procesos geológicos)	0.45	DE IMPACTO MODERADO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

De acuerdo con lo anterior, las actividades con mayor número de impactos asociados en el escenario sin proyecto son la agricultura, la ganadería, la captación de aguas y los eventos

naturales por los cuales se puedan activar procesos geológicos. Los componentes con mayor recurrencia de impactos son fauna y flora.

En cuanto a la valoración cualitativa de impactos ambientales, se estableció la importancia absoluta de los mismos de acuerdo con lo descrito en la metodología implementada (ver numeral 6.1). Los resultados de la valoración cualitativa realizada en el EsIA existente para el escenario sin proyecto se presentan en las tablas 32 y 33, en las cuales se segregan los impactos de acuerdo con su naturaleza (Negativa y positiva) y se clasifican según su nivel de importancia.

Tabla 32. Importancia absoluta de impactos ambientales para el escenario “Sin proyecto”.

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia Negativa	Importancia Positiva
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		2	Alteración de los niveles de ruido	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		3	Cambio de uso del suelo	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	SUELO	4	Generación de Inestabilidad	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		5	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		6	Generación de procesos erosivos	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		7	Cambios en la calidad del Agua	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	AGUA	8	Alteración del régimen de caudales	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		9	Alteración del régimen sedimentológico	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		10	Alteración de la dinámica del cauce	LEVE	POCO BENEFICIOSO
BIOTICO	FAUNA	11	Pérdida de fauna	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		12	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		13	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna,	MODERADO	POCO BENEFICIOSO

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia Negativa	Importancia Positiva
			bentónicas y plantónica)		
		14	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	FLORA	15	Pérdida de cobertura vegetal	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		16	Fragmentación de hábitats	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		17	Afectación del paisaje	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		18	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		19	Modificación predial	LEVE	POCO BENEFICIOSO
SOCIO ECONOMIC O Y CULTURAL	ECONOMIA E INFRAESTR.	20	Cambios en la movilidad	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		21	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		22	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		23	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		24	Generación de Riesgos de Accidentes	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	SOCIAL	25	Conflicto con la comunidad	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		26	Generación de Expectativas	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		27	Cambio en las condiciones	LEVE	POCO BENEFICIOSO

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia Negativa	Importancia Positiva
			culturales		
		28	Cambio las relaciones sociales	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		29	Afectación al patrimonio arqueológico	MODERADO	POCO BENEFICIOSO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 33. Clasificación de actividades de acuerdo con la significancia de los impactos sobre cada medio, en el escenario “Sin proyecto”.

No	Actividad	Tipo de Impacto		
		Medio Abiótico	Medio Biótico	Medio Socioeconómico y Cultural
1	Agricultura	MODERADO	SIGNIFICATIVO	BAJO
2	Ganadería	MODERADO	SIGNIFICATIVO	BAJO
3	Vivienda	BAJO	MODERADO	BAJO
4	Institucional, Educación y Salud	BAJO	BAJO	BAJO
5	Recreación y deporte	BAJO	BAJO	BAJO
6	Captación de aguas	BAJO	MODERADO	BAJO
7	Ocupación de cuerpos de agua	BAJO	MODERADO	BAJO
8	Cría de peces	BAJO	BAJO	BAJO
9	Eventos naturales (Activación de procesos geológicos)	SIGNIFICATIVO	BAJO	MODERADO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Como se observa, en el escenario sin proyecto las actividades con impactos ambientales más significativos sobre el medio biótico son las asociadas a la agricultura y ganadería. Las actividades asociadas a eventos naturales (aquellas que pueden causar la activación de procesos geológicos), afectan principalmente los componentes del medio abiótico.

6.3 Evaluación de Impactos Ambientales de la Alternativa Corte – Relleno

En la EvIA existente de la alternativa corte – relleno se identificaron las siguientes actividades asociadas a la etapa de construcción, que corresponde a la etapa objeto de comparación del presente estudio:

- Descapote y remoción de vegetación
- Transporte y acopio de materiales de construcción y de materiales sobrantes
- Movimiento de tierras (Cortes, rellenos y compactación)
- Disposición de material sobrante de excavación y de descapote en sitios de disposición (ZODME)
- Construcción de obras de arte (Muros, cunetas, protección de taludes y/o banca)
- Producción, colocación y transporte de concreto hidráulico (Rígido) y asfáltico
- Empradización
- Pintura, colocación de barandas y señalización horizontal y vertical
- Limpieza y entrega final

En las tablas 34 y 35 se presenta la síntesis de los resultados obtenidos en la identificación de impactos ambientales realizada en el EsIA existente, incluyendo el análisis horizontal (i.e. análisis por Impactos) y el análisis vertical (i.e. análisis por Actividades), respectivamente.

Tabla 34. Clasificación de impactos de acuerdo a su recurrencia, durante la etapa de construcción de la alternativa corte - relleno

Medio	Componente	No	Impactos	Recurrencia	Clasificación
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	0.78	RECURRENTE
		2	Alteración de los niveles de ruido	0.67	RECURRENTE
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	0.33	OCASIONAL
		4	Generación de Inestabilidad	0.56	OCASIONAL
		5	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	0.44	OCASIONAL
		6	Generación de procesos erosivos	0.33	OCASIONAL
		7	Cambios en la calidad del Agua	0.33	OCASIONAL
AGUA					

Medio	Componente	No	Impactos	Recurrencia	Clasificación
BIOTICO		8	Alteración del régimen de caudales	0.33	OCASIONAL
		9	Alteración del régimen sedimentológico	0.33	OCASIONAL
		10	Alteración de la dinámica del cauce	0.00	AISLADO
	FAUNA	11	Pérdida de fauna	0.78	RECURRENTE
		12	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	0.78	RECURRENTE
		13	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna, bentónicas y plantónica)	0.78	RECURRENTE
		14	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0.67	RECURRENTE
	FLORA	15	Pérdida de cobertura vegetal	0.56	OCASIONAL
		16	Fragmentación de hábitats	0.78	RECURRENTE
		17	Afectación del paisaje	0.78	RECURRENTE
18		Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0.56	OCASIONAL	
SOCIO ECONOMICO Y CULTURAL	ECONOMIA E INFRAESTR.	19	Modificación predial	0.00	AISLADO
		20	Cambios en la movilidad	0.00	AISLADO
		21	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	0.00	AISLADO
		22	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	0.56	OCASIONAL
		23	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	0.00	AISLADO
	SOCIAL	24	Generación de Riesgos de Accidentes	1.00	RECURRENTE
		25	Conflicto con la comunidad	1.00	RECURRENTE
		26	Generación de Expectativas	1.00	RECURRENTE
		27	Cambio en las condiciones culturales	0.00	AISLADO
		28	Cambio las relaciones sociales	0.00	AISLADO
29		Afectación al patrimonio arqueológico	0.33	OCASIONAL	

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 35. Clasificación de actividades de acuerdo a los impactos asociados durante la etapa de construcción de la alternativa corte – relleno.

No	Actividad	Recurrencia de impactos	Clasificación de actividades
1	Descapote y remoción de vegetación	0.72	DE ALTO IMPACTO
2	Transporte y acopio de materiales de construcción y de materiales sobrantes	0.41	DE IMPACTO MODERADO
3	Movimiento de tierras (Cortes, rellenos y compactación)	0.69	DE ALTO IMPACTO
4	Disposición de material sobrante de excavación y de descapote en sitios de disposición (ZODME)	0.55	DE IMPACTO MODERADO
5	Construcción de obras de arte (Muros, cunetas, protección de taludes y/o banca)	0.66	DE IMPACTO MODERADO
6	Producción, colocación y transporte de concreto hidráulico (Rígido) y asfáltico	0.59	DE IMPACTO MODERADO
7	Empradización	0.31	DE BAJO IMPACTO
8	Pintura, colocación de barandas y señalización horizontal y vertical	0.14	DE BAJO IMPACTO
9	Limpieza y entrega final	0.17	DE BAJO IMPACTO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

De acuerdo con los resultados de la identificación de impactos ambientales realizada en el EsIA existente, las actividades con más impactos asociados en la construcción de la alternativa corte-relleno son el descapote y remoción de vegetación y el movimiento de tierras. Los componentes ambientales con mayor recurrencia de impactos son el aire y la fauna, en donde se identificó que todos los impactos ambientales asociados tienen una alta recurrencia.

Otros impactos ambientales con alta recurrencia incluyen la generación de riesgos de accidentes, generación de expectativas y conflictos con la comunidad dentro del componente social, y la fragmentación de hábitats y alteración del paisaje dentro del componente flora.

En cuanto a la valoración cualitativa de los impactos ambientales, los resultados para la alternativa corte – relleno se presentan en las tablas 36 y 37, en las cuales se segregan los impactos de acuerdo con su naturaleza (Negativa y positiva) y se clasifican según su nivel de importancia absoluta. Para cada una de las actividades asociadas a la etapa de construcción se presentan los resultados en cuanto a la severidad de los impactos ambientales asociados, segregadas por cada medio.

Tabla 36. Clasificación de impactos de acuerdo a su importancia (durante la etapa de construcción de la alternativa corte – relleno)

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia negativa	Importancia positiva
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		2	Alteración de los niveles de ruido	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		4	Generación de Inestabilidad	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		5	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		6	Generación de procesos erosivos	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
	AGUA	7	Cambios en la calidad del Agua	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		8	Alteración del régimen de caudales	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		9	Alteración del régimen sedimentológico	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		10	Alteración de la dinámica del cauce	LEVE	POCO BENEFICIOSO
BIOTICO	FAUNA	11	Pérdida de fauna	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		12	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		13	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna, bentónicas y plantónica)	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		14	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
	FLORA	15	Pérdida de cobertura	SIGNIFICATIVO	POCO

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia negativa	Importancia positiva
SOCIO ECONOMICO Y CULTURAL			vegetal		BENEFICIOSO
		16	Fragmentación de hábitats	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		17	Afectación del paisaje	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		18	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
	ECONOMIA E INFRAESTRUCTURA	19	Modificación predial	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		20	Cambios en la movilidad	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		21	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		22	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	LEVE	MODERADAMENTE BENEFICIOSO
		23	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	SOCIAL	24	Generación de Riesgos de Accidentes	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		25	Conflicto con la comunidad	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		26	Generación de Expectativas	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		27	Cambio en las condiciones culturales	LEVE	POCO BENEFICIOSO
28		Cambio las relaciones sociales	LEVE	POCO BENEFICIOSO	
29		Afectación al patrimonio arqueológico	MODERADO	POCO BENEFICIOSO	

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Tabla 37. Clasificación de actividades de acuerdo al tipo de impacto generado por medio (durante la etapa de construcción de la alternativa corte – relleno)

No	Actividad	Tipo de Impacto		
		Medio Abiótico	Medio Biótico	Medio Socioeconómico y Cultural
1	Descapote y remoción de vegetación	SIGNIFICATIVO	SEVERO	BAJO
2	Transporte y acopio de materiales de construcción y de materiales sobrantes	BAJO	MODERADO	BAJO
3	Movimiento de tierras (Cortes, rellenos y compactación)	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	BAJO
4	Disposición de material sobrante de excavación y de descapote en sitios de disposición (ZODME)	MODERADO	SIGNIFICATIVO	BAJO
5	Construcción de obras de arte (Muros, cunetas, protección de taludes y/o banca)	BAJO	SIGNIFICATIVO	BAJO
6	Producción, colocación y transporte de concreto hidráulico (Rígido) y asfáltico	MODERADO	SIGNIFICATIVO	BAJO
7	Empradización	BAJO	BAJO	BAJO
8	Pintura, colocación de barandas y señalización horizontal y vertical	BAJO	BAJO	BAJO
9	Limpieza y entrega final	BAJO	BAJO	BAJO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio

Como se observa, para la alternativa corte - relleno la actividad con impactos ambientales más significativos sobre el medio biótico es el descapote y remoción de vegetación, en donde se encuentra que su impacto sobre este medio es severo. Otras actividades con impactos ambientales significativos sobre el medio biótico incluyen el movimiento de tierras, la disposición de materiales sobrantes, la construcción de obras de arte y la producción y colocación de concretos. Las actividades con impactos ambientales significativos sobre el medio abiótico incluyen el descapote y remoción de vegetación y el movimiento de tierras.

Los impactos ambientales más significativos sobre el medio abiótico recaen sobre el componente aire. También se espera que se genere un impacto significativo relacionado con

la generación de inestabilidad para el componente suelo. En cuanto al componente socio-económico, se esperan impactos significativos relacionados con la generación de riesgos de accidentes, conflictos con la comunidad y generación de expectativas.

6.4 Alternativa en Viaducto

Al igual que en la alternativa corte – relleno, para la EvIA de la alternativa de viaducto se partió de la identificación de las actividades asociadas a la etapa de construcción, encontrando las siguientes actividades:

- Localización y replanteo
- Instalación de campamentos, adecuación de zonas de acopio y talleres
- Movimientos de tierras - cortes
- Excavación para cimentación
- Construcción de pilotes tipo Caisson
- Construcción de Dados en concreto
- Construcción de Columnas en concreto
- Construcción de Estribos
- Conformación de rellenos estructurales en material granular (respaldo en estribos)
- Construcción de Vigas Cabezal
- Construcción y montaje de vigas postensadas
- Construcción de Vigas Riostra
- Construcción de Tablero Superior
- Fabricación y colocación de baranda metálica
- Colocación de la capa de rodadura en mezcla asfáltica
- Instalación de señalización horizontal y vertical

6.4.1 Identificación de impactos ambientales para la alternativa de viaducto

A partir de la identificación de actividades a desarrollar durante la etapa de construcción y teniendo en cuenta la caracterización del AID, se identificaron los potenciales impactos asociados a la construcción de la alternativa en viaducto, con lo que se conformó la matriz causa – efecto descrita en el numeral 6.1, basada en el conocimiento del proyecto por parte del autor y en la revisión de EsIA de proyectos similares.

Para efectos de comparación con la alternativa corte – relleno, la evaluación conservó la estructura del listado de impactos identificados para dicha alternativa. No obstante, en el ejercicio realizado se identificaron 2 impactos que no estaban contemplados en la alternativa corte-relleno, incluyendo cambios en la forma del relieve sobre el componente suelo y cambios en el régimen de escorrentía superficial, sobre el componente agua. De acuerdo con el criterio del autor, estos impactos también están asociados a la construcción de la alternativa corte-relleno, por lo tanto para efectos del análisis comparativo de EvIA se adicionó la valoración de estos dos impactos ambientales a las matrices de evaluación sin proyecto y corte-relleno, cuyo resultado se presenta en el capítulo 7 (Análisis de resultados).

La matriz resultante de identificación de impactos ambientales se presenta en las tablas 38 y 39, con el análisis horizontal (Impactos) y del análisis vertical (Actividades), respectivamente.

Tabla 38. Clasificación de impactos de acuerdo a su recurrencia, durante la etapa de construcción de la alternativa en viaducto.

Medio	Componente	No	Impactos	Recurrencia	Clasificación
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	0.31	AISLADO
		2	Alteración de los niveles de ruido	0.81	RECURRENTE
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	0.50	OCASIONAL
		4	Cambios en las formas del relieve**	0.31	AISLADO
		5	Generación de Inestabilidad	0.38	OCASIONAL
		6	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	0.44	OCASIONAL

Medio	Componente	No	Impactos	Recurrencia	Clasificación	
BIOTICO	AGUA	7	Generación de procesos erosivos**	0.44	OCASIONAL	
		8	Cambios en la calidad del Agua	0.69	RECURRENTE	
		9	Cambios en la escorrentía superficial	0.38	OCASIONAL	
		10	Alteración del régimen de caudales	0.00	AISLADO	
		11	Alteración del régimen sedimentológico	0.25	AISLADO	
		12	Alteración de la dinámica del cauce	0.25	AISLADO	
	FAUNA	13	Pérdida de fauna	0.63	OCASIONAL	
		14	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	0.31	AISLADO	
		15	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna, bentónicas y plantónica)	0.69	RECURRENTE	
		16	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0.06	AISLADO	
		FLORA	17	Pérdida de cobertura vegetal	0.38	OCASIONAL
			18	Fragmentación de hábitats	0.25	AISLADO
	19		Afectación del paisaje	0.69	RECURRENTE	
	20		Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	0.31	AISLADO	

Medio	Componente	No	Impactos	Recurrencia	Clasificación
SOCIO ECONOMICO Y CULTURAL	ECONOMIA E INFRAESTRUCTURA	21	Modificación predial	0.44	OCASIONAL
		22	Cambios en la movilidad	0.50	OCASIONAL
		23	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	0.06	AISLADO
		24	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	1.00	RECURRENTE
		25	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	0.88	RECURRENTE
	SOCIAL	26	Generación de Riesgos de Accidentes	1.00	RECURRENTE
		27	Conflicto con la comunidad	1.00	RECURRENTE
		28	Generación de Expectativas	1.00	RECURRENTE
		29	Cambio en las condiciones culturales	0.00	AISLADO
		30	Cambio las relaciones sociales	0.00	AISLADO
		31	Afectación al patrimonio arqueológico	0.13	AISLADO

** Impactos ambientales adicionados a los impactos identificados en el EsIA original.

Fuente: Elaboración propia. 2017

Tabla 39. Clasificación de actividades de acuerdo a la recurrencia de los impactos generados durante la etapa de construcción de la alternativa en viaducto.

No	Actividad	Recurrencia de impactos	Clasificación de actividades
1	Localización y replanteo	0.13	DE BAJO IMPACTO
2	Instalación de campamentos, adecuación de zonas de acopio y talleres	0.52	DE IMPACTO MODERADO
3	Movimientos de tierras – cortes	0.90	DE ALTO IMPACTO
4	Excavación para cimentación	0.84	DE ALTO IMPACTO
5	Construcción de pilotes tipo Caisson	0.58	DE IMPACTO MODERADO

No	Actividad	Recurrencia de impactos	Clasificación de actividades
6	Construcción de Dados en concreto	0.45	DE IMPACTO MODERADO
7	Construcción de Columnas en concreto	0.42	DE IMPACTO MODERADO
8	Construcción de Estribos	0.71	DE ALTO IMPACTO
9	Conformación de rellenos estructurales en material granular (respaldo en estribos)	0.77	DE ALTO IMPACTO
10	Construcción de Vigas Cabezal	0.32	DE BAJO IMPACTO
11	Construcción y montaje de vigas postensadas	0.32	DE BAJO IMPACTO
12	Construcción de Vigas Riostra	0.29	DE BAJO IMPACTO
13	Construcción de Tablero Superior	0.32	DE BAJO IMPACTO
14	Fabricación y colocación de baranda metálica	0.23	DE BAJO IMPACTO
15	Colocación de la capa de rodadura en mezcla asfáltica	0.32	DE BAJO IMPACTO
16	Instalación de señalización horizontal y vertical	0.13	DE BAJO IMPACTO

Fuente: Consultor de Estudios y Diseños del Caso de Estudio. 2017

De acuerdo con los resultados de la identificación de impactos ambientales, las actividades con mayor recurrencia de impactos ambientales durante la etapa de construcción de la alternativa en viaducto son el movimiento de tierras, excavación para cimentación, construcción de estribos y conformación de rellenos estructurales. El medio sobre el que se identifica una mayor recurrencia de impactos ambientales es el socio-económico, en donde 6 de los 11 impactos identificados resultan tener un nivel alto de recurrencia.

6.4.2 Valoración de impactos ambientales para la alternativa de viaducto

Uno de los aspectos más importantes de la elaboración de los EsIA es la conformación de equipos multidisciplinarios, en donde a través de discusiones, intercambio de conceptos y opiniones desde diferentes disciplinas, se reduce el nivel de subjetividad en la valoración del impacto ambiental. Dado que en este caso no se cuenta con tal equipo, para la valoración de impactos ambientales se adelantaron las siguientes actividades:

- Una cuidadosa revisión del EsIA existente para la alternativa corte-relleno, con el fin de identificar juicios, criterios y escalas de valoración.
- Un análisis de sensibilidad, en donde se analizaron diferentes escenarios de valoración para aquellos casos en donde se identifica un mayor nivel subjetividad.
- Los impactos con mayor grado de incertidumbre (por no tener suficiente información y/o antecedentes) fueron calificados bajo el escenario más crítico. Lo anterior por aplicación del “Principio de precaución en la gestión ambiental⁶”.

Según Conesa⁷, si un factor es medible, los impactos producidos por las acciones que actúan sobre él serán medibles y por ende podrán ser analizados con un mayor nivel de objetividad. En contraposición, si el factor no es medible o proviene de criterios subjetivos (con escalas de preferencia u otros) la valoración del impacto tendrá mayor grado de subjetividad.

De esta forma, al estimar la importancia de los impactos en función de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos. Tal valoración puede ser objetiva (i.e. con escalas jerárquicas o proporcionales) o puede revestir un mayor nivel de subjetividad. Para aquellos casos en donde se encontró un mayor grado de subjetividad se realizó un análisis de sensibilidad, el cual es presentado en el numeral 6.4.1 de este documento.

Para el caso de los impactos en donde existe mayor incertidumbre, por no tener suficiente información y/o antecedentes, de acuerdo con la legislación vigente en materia de EsIA en Colombia (decreto único reglamentario 1076 de 2015), se debe suponer el escenario más crítico, por el principio de precaución de la gestión ambiental. Lo anteriormente enunciado responde al enfoque teórico de “principio de precaución” que desarrolló Perrings en 1992, el

⁶ El principio de precaución se encuentra consagrado en la Ley 99 de 1993, la cual señala, en el Artículo 1. Principios Generales Ambientales “*La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente*”.

⁷ CONESA FERNANDEZ, Vicente. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid-Barcelona-México: Mundi-Prensa, 2003.

cual permite que se incluya una consideración potencial pérdida, sobre los impactos ambientales al otorgar valores para los escenarios más críticos.

Los impactos en los que se encontró mayor grado de incertidumbre fueron:

- Afectación a los ingresos y/o actividades productivas
- Cambio en las relaciones sociales
- Cambio en las condiciones culturales
- Generación de riesgo de accidentes

Teniendo en cuenta lo anterior, se conformó la matriz de valoración de impactos ambientales, cuyos resultados se presentan en las tablas 40 y 41, en donde se clasifican de acuerdo a su importancia (Negativa y positiva) y las actividades de acuerdo al tipo de impacto generado en cada medio.

Tabla 40. Clasificación de impactos de acuerdo a su importancia (durante la etapa de construcción de alternativa en viaducto)

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia negativa	Importancia positiva	
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	LEVE	POCO BENEFICIOSO	
		2	Alteración de los niveles de ruido	MODERADO	POCO BENEFICIOSO	
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	MODERADO	POCO BENEFICIOSO	
		4	Cambios en las formas del relieve	LEVE	POCO BENEFICIOSO	
		5	Generación de Inestabilidad	LEVE	POCO BENEFICIOSO	
		6	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo	MODERADO	POCO BENEFICIOSO	
		7	Generación de procesos erosivos	LEVE	POCO BENEFICIOSO	
		AGUA	8	Cambios en la calidad del Agua	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
			9	Cambios en la escorrentía superficial	LEVE	POCO BENEFICIOSO
			10	Alteración del régimen de caudales	LEVE	POCO BENEFICIOSO

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia negativa	Importancia positiva
BIOTICO		11	Alteración del régimen sedimentológico	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		12	Alteración de la dinámica del cauce	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	FAUNA	13	Pérdida de fauna	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		14	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		15	Afectación a Cuerpos de Agua (Comunidades de ictiofauna, bentónicas y plantónica)	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		16	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	LEVE	POCO BENEFICIOSO
	FLORA	17	Pérdida de cobertura vegetal	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		18	Fragmentación de hábitats	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		19	Afectación del paisaje	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		20	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	LEVE	POCO BENEFICIOSO
SOCIO ECONOMICO Y CULTURAL	ECONOMIA E INFRAESTR.	21	Modificación predial	MODERADO	POCO BENEFICIOSO
		22	Cambios en la movilidad	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		23	Afectación a la infraestructura existente y redes de servicios	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		24	Oferta y demanda de Mano de Obra y de servicios	LEVE	MODERADAMENTE BENEFICIOSO

Medio	Componente	No	Impacto	Importancia negativa	Importancia positiva
	SOCIAL	25	Afectación a los ingresos y/o actividades productivas	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		26	Generación de Riesgos de Accidentes	SEVERO	POCO BENEFICIOSO
		27	Conflicto con la comunidad	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		28	Generación de Expectativas	SIGNIFICATIVO	POCO BENEFICIOSO
		29	Cambio en las condiciones culturales	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		30	Cambio las relaciones sociales	LEVE	POCO BENEFICIOSO
		31	Afectación al patrimonio arqueológico	LEVE	POCO BENEFICIOSO

Fuente: Elaboración propia. 2017

Tabla 41. Clasificación de actividades de acuerdo al tipo de impacto generado por medio (durante la etapa de construcción de la alternativa en viaducto)

No	Actividad	Tipo de Impacto por medio impactado		
		Medio Abiótico	Medio Biótico	Medio Socioeconómico y Cultural
1	Localización y replanteo	BAJO	BAJO	BAJO
2	Instalación de campamentos, adecuación de zonas de acopio y talleres	MODERADO	BAJO	BAJO
3	Movimientos de tierras – cortes	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	BAJO
4	Excavación para cimentación	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	BAJO
5	Construcción de pilotes tipo Caisson	BAJO	MODERADO	BAJO
6	Construcción de Dados en concreto	BAJO	BAJO	BAJO
7	Construcción de Columnas en concreto	BAJO	BAJO	BAJO
8	Construcción de Estribos	MODERADO	MODERADO	BAJO
9	Conformación de rellenos estructurales en material granular (respaldo en estribos)	MODERADO	MODERADO	BAJO

No	Actividad	Tipo de Impacto por medio impactado		
		Medio Abiótico	Medio Biótico	Medio Socioeconómico y Cultural
10	Construcción de Vigas Cabezal	BAJO	BAJO	BAJO
11	Construcción y montaje de vigas postensadas	BAJO	BAJO	BAJO
12	Construcción de Vigas Riostra	BAJO	BAJO	BAJO
13	Construcción de Tablero Superior	BAJO	BAJO	BAJO
14	Fabricación y colocación de baranda metálica	BAJO	BAJO	BAJO
15	Colocación de la capa de rodadura en mezcla asfáltica	BAJO	BAJO	BAJO
16	Instalación de señalización horizontal y vertical	BAJO	BAJO	BAJO

Fuente: Elaboración propia. 2017

Como se observa, para la alternativa en viaducto las actividades más impactantes, de acuerdo con la valoración realizada, son el movimiento de tierras y las excavaciones para cimentación, con impactos resultantes significativos sobre los medios abiótico y biótico. El medio más impactado resulta ser el socioeconómico y cultural, en donde se encuentran dos impactos ambientales clasificados con un nivel significativo (conflictos con la comunidad y generación de expectativas) y uno severo (generación de riesgos de accidentes).

6.4.3 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realiza para determinar cómo los resultados de los modelos utilizados en las evaluaciones de impacto dependen de la información introducida en ellos⁸. Para este fin, se realizó un análisis de sensibilidad a la matriz de valoración de impactos para la alternativa en viaducto, realizando variaciones en la valoración de los atributos de los impactos ambientales, específicamente en donde se encontró mayor nivel de subjetividad. Los impactos seleccionados para realizar el análisis de sensibilidad son:

⁸ Servicio de la ciencia y el conocimiento de la Unión Europea, 2017. El análisis de sensibilidad y la evaluación del impacto. [En línea]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/>

- Afectación del paisaje
- Conflicto con la comunidad
- Generación de expectativas

Los impactos correspondientes a cambios en las formas del relieve y cambios en la escorrentía superficial, desde un punto de vista técnico no tienen un alto nivel de subjetividad. Sin embargo, al ser impactos adicionados a la lista de impactos de la EvIA original, no se encontraron suficientes referencias para su valoración, por lo que se decidió incluirlos en el análisis de sensibilidad.

Una vez realizadas las matrices de valoración de impactos realizando suposiciones diferentes a aquellas de la valoración inicial, se encontró que la importancia absoluta de estos impactos podría variar como se observa en la tabla 42.

Tabla 42. Resultados del análisis de sensibilidad. Diferencias en la clasificación de impactos de acuerdo a su importancia (durante la etapa de construcción de alternativa en viaducto)

Medio	Componente	No.	Impacto	Importancia negativa Evaluación inicial	Variación por Análisis de sensibilidad
ABIOTICO	SUELO	4	Cambios en las formas del relieve	LEVE	MODERADO
	AGUA	9	Cambios en la escorrentía superficial	LEVE	MODERADO
BIOTICO	FLORA	19	Afectación del paisaje	MODERADO	SIGNIFICATIVO
SOCIOECONOMICO Y CULTURAL	SOCIAL	27	Conflicto con la comunidad	SIGNIFICATIVO	SEVERO
		28	Generación de Expectativas	SIGNIFICATIVO	SEVERO

Fuente: Elaboración propia. 2017

.Al realizar este análisis por medio, el medio más afectado para esta alternativa resulta ser el biótico, dado el alto nivel de subjetividad del impacto “afectación del paisaje”. Para el medio abiótico los cambios en la clasificación de actividades resultan de los impactos “cambios en las formas del relieve y escorrentía superficial”.

Tabla 43. Resultados del análisis de sensibilidad. Diferencias en la clasificación de actividades de acuerdo al tipo de impacto generado por medio (durante la etapa de construcción de la alternativa en viaducto).

No	Actividad	Tipo de Impacto					
		Medio Abiótico		Medio Biótico		Medio Socioeconómico y Cultural	
		Ev. Inicial	Análisis Sensib.	Ev. Inicial	Análisis Sensib.	Ev. Inicial	Análisis Sensib.
7	Construcción de Columnas en concreto	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO
8	Construcción de Estribos	MODERADO	MODERADO	MODERADO	SIGNIFICATIVO	BAJO	BAJO
9	Conformación de rellenos estructurales en material granular (respaldo en estribos)	MODERADO	SIGNIFICATIVO	MODERADO	MODERADO	BAJO	BAJO
10	Construcción de Vigas Cabezal	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO
11	Construcción y montaje de vigas postensadas	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO
13	Construcción de Tablero Superior	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO

Fuente: Elaboración Propia. 2017

Para el medio socioeconómico, a pesar de que los impactos “conflicto con la comunidad y generación de expectativas”, son calificados como “Severo” en la importancia negativa, no se generan cambios en los resultados de la evaluación de impactos de las diferentes actividades sobre este medio.

A pesar de los cambios resultantes del análisis de sensibilidad, las actividades más impactantes continúan siendo el movimiento de tierras y la excavación para cimentación y el medio más afectado sigue siendo el Socioeconómico y cultural, para la alternativa de viaducto.

Siguiendo el principio de precaución de la gestión ambiental, el análisis comparativo de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios se realizará utilizando la matriz resultante del análisis de sensibilidad.

7. Análisis de Resultados

A partir de la evaluación de impactos ambientales de los escenarios “Sin Proyecto”, alternativa Corte – Relleno y alternativa en viaducto, así como la caracterización del entorno afectado, zonificación ambiental y la demanda de RN, se realizó el análisis de resultados obtenidos. Inicialmente se presenta un análisis general de los escenarios sin proyecto, construcción de alternativa corte relleno y construcción del viaducto, para luego ser comparados entre sí por componente ambiental.

En la Tabla 44 se presenta una síntesis de los resultados de la EvIA de cada escenario. La grafica 1 contiene una representación de los resultados de la EvIA para los escenarios sin proyecto, construcción de la alternativa corte-relleno y construcción del viaducto, incluyendo únicamente aquellos impactos en donde se encontraron diferencias entre las dos alternativas.

Tabla 44. Comparación entre la clasificación de la importancia negativa de impactos del escenario “Sin Proyecto” y las alternativas corte – relleno y viaducto.

Medio	Componente	No.	Impacto	Sin proyecto	Corte - relleno	Viaducto
ABIOTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	LEVE	SIGNIFICATIVO	LEVE
		2	Alteración de los niveles de ruido	LEVE	SIGNIFICATIVO	MODERADO
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	LEVE	MODERADO	MODERADO
		4	Cambios en las formas del relieve	LEVE	MODERADO	MODERADO
		5	Generación de Inestabilidad	MODERADO	SIGNIFICATIVO	LEVE
		7	Generación de procesos erosivos	MODERADO	MODERADO	LEVE
		8	Cambios en la calidad del Agua	LEVE	MODERADO	MODERADO
	AGUA	9	Cambios en la escorrentía superficial	LEVE	SIGNIFICATIVO	MODERADO
		10	Alteración del régimen de caudales	LEVE	MODERADO	LEVE
		11	Alteración del régimen sedimentológico	LEVE	MODERADO	LEVE
		BIÓTICO	FAUNA	13	Pérdida de fauna	LEVE
14	Fragmentación de hábitats y perdida de corredores biológicos			MODERADO	SIGNIFICATIVO	LEVE

Medio	Componente	No.	Impacto	Sin proyecto	Corte - relleno	Viaducto
		16	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	LEVE	MODERADO	LEVE
		17	Pérdida de cobertura vegetal	MODERADO	SIGNIFICATIVO	LEVE
		18	Fragmentación de hábitats	MODERADO	SIGNIFICATIVO	LEVE
	FLORA	19	Afectación del paisaje	MODERADO	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO
		20	Afectación a especies endémicas, amenazadas vedadas y de importancia ecológica, económica y/o cultural.	MODERADO	MODERADO	LEVE
		26	Generación de Riesgos de Accidentes	LEVE	SIGNIFICATIVO	SEVERO
	SOCIAL	27	Conflicto con la comunidad	LEVE	SIGNIFICATIVO	SEVERO
		28	Generación de Expectativas	LEVE	SIGNIFICATIVO	SEVERO
		31	Afectación al patrimonio arqueológico	MODERADO	MODERADO	LEVE

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del EsIA real (sin proyecto y corte-relleno) y de la EvIA realizada para la alternativa de viaducto.

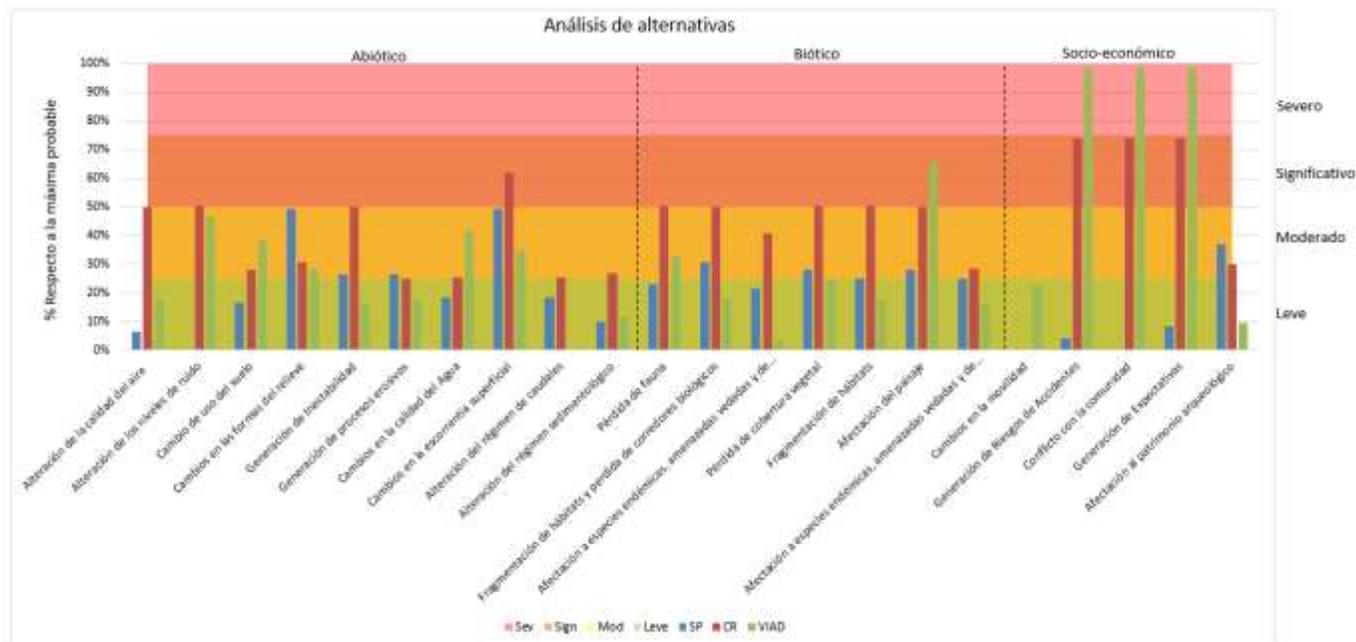


Figura 21. Resultados de la valoración de impactos ambientales para los tres escenarios analizados. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del EsIA real (sin proyecto y corte-relleno) y de la EvIA realizada para la alternativa de viaducto.

7.1. Análisis General de Escenarios

Evaluación sin proyecto

De acuerdo con la evaluación del escenario “Sin Proyecto”, todas las actividades actualmente desarrolladas en el área de influencia del proyecto generan impactos ambientales leves a moderados, siendo las de mayor impacto la agricultura y la ganadería. Estas son las causantes de impactos recurrentes sobre los medios abiótico y biótico, lo cual incluye fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos, afectación de cuerpos de agua y afectación al paisaje.

Construcción de la alternativa corte-relleno

De la evaluación de la alternativa corte – relleno se puede resaltar que las actividades que generan mayores impactos ambientales son el descapote, la remoción de vegetación y el movimiento de tierras, las cuales se encuentran clasificadas como de alto impacto.

Debido a la naturaleza de las obras, se encuentran potenciales impactos significativos tanto para los componentes del medio abiótico como biótico. Para la construcción de esta alternativa el componente suelo es afectado de manera importante debido a los cortes y movimientos de tierras requeridos en un 80% del corredor vial. Esto hace a su vez que la generación de inestabilidad y cambios en la escorrentía superficial sean potenciales impactos significativos. Se espera que los impactos asociados a la calidad del aire y generación de ruido sean significativos durante la etapa de construcción, al igual que los impactos asociados al medio biótico, incluyendo fragmentación de ecosistemas y pérdida de cobertura vegetal.

Sobre el medio socio-económico también se encuentran potenciales impactos significativos que incluyen conflictos con la comunidad, generación de expectativas y generación de riesgos de accidentes.

Construcción del viaducto

La EvIA analizada para la construcción del viaducto es la resultante del análisis de sensibilidad presentado en el Numeral 6.4.1. De acuerdo con los resultados de la EvIA realizada, los movimientos de tierras – cortes, la excavación para cimentación, construcción de estribos y la conformación de rellenos podrían tener impactos significativos asociados. Cabe anotar que en la metodología empleada para la evaluación de impactos ambientales (Conesa modificada por la Universidad de Cartagena), el criterio “extensión”, tiene la misma relevancia de los demás criterios a diferencia de la metodología original de Conesa, en donde la extensión se multiplica por dos. Por lo tanto, estas actividades, desarrolladas en un área correspondiente al 3% del trazado de la alternativa, resultan con impactos significativos asociados.

El único impacto significativo sobre el entorno natural asociado a la construcción de esta alternativa resulta ser la afectación del paisaje. Este impacto también fue valorado como significativo para el caso de la construcción de la alternativa corte-relleno. En el medio socio-económico se encuentran impactos valorados como severos; no obstante, teniendo en cuenta que los tres impactos fueron valorados en el escenario más crítico posible, el nivel de significancia de los mismos podría ser similar al de la alternativa corte-relleno.

7.2. Análisis Comparativo de Impactos Ambientales por Medio

Medio abiótico:

De acuerdo con los resultados obtenidos, los potenciales impactos sobre el medio abiótico podrían ser más significativos en el escenario de la alternativa corte-relleno, encontrando las mayores diferencias en los grados de afectación en la alteración de la calidad del aire, alteración de los niveles de ruido y generación de inestabilidad. Esto se debe a que para la alternativa corte-relleno se requiere realizar obras de estabilización en un 80% del corredor vial, aumentando además el riesgo de generación de inestabilidad y demandando el uso de maquinaria con generación de altos niveles de ruido y grandes cantidades de material particulado.

De acuerdo con la EvIA realizada, la alteración de las formas del relieve resultan ser moderadas en ambos casos. No obstante, para el caso de la alternativa en viaducto esta afectación podría ser leve, teniendo en cuenta que este impacto se valoró como moderado como resultado del análisis de sensibilidad, en donde se decidió tomar en cuenta el escenario más crítico posible.

De otra parte, los potenciales impactos relacionados con los cambios en el uso del suelo y la alteración de las propiedades fisicoquímicas del mismo serían similares en ambos casos. Por su parte, los impactos asociados a la generación de procesos erosivos serían más significativos para el caso de la alternativa de corte-relleno, por la naturaleza de las obras requeridas.

La disposición de material sobrante genera impactos moderados sobre los componentes del medio abiótico, y significativos sobre el medio biótico, para el caso de la alternativa corte-relleno. Si bien esta actividad no se contempló en el análisis de la alternativa de viaducto, al revisar los resultados de la demanda de recursos naturales se encontró que para la construcción de la alternativa de viaducto únicamente se requeriría una ZODME con una capacidad de 61 mil m³, mientras que la alternativa corte-relleno demanda 5 ZODMES con una capacidad total de 483 mil m³. Este volumen es casi 8 veces mayor al requerido para la construcción de la alternativa de viaducto. Desde el punto de vista de gestión de residuos sólidos – RS y de acuerdo con la jerarquía de opciones ambientales de la EPA, la opción más deseada es la eliminación en la fuente, es decir, la generación de escombros en una cuantía significativamente inferior constituye una ventaja para la alternativa en viaducto con

respecto a la construcción de la alternativa corte-relleno, desde una perspectiva de gestión ambiental.

Al realizar el análisis de los requerimientos de materiales desde el punto de vista ambiental, se encontró que la construcción de la alternativa corte-relleno demanda 67 veces más materiales granulares con respecto a la alternativa de viaducto, mientras que la construcción de esta última demanda casi 6 veces más concreto y 9 veces más acero que la alternativa de corte-relleno.

En cuanto a la hidrología, se encuentran algunos potenciales impactos moderados asociados a la alternativa corte relleno, incluyendo alteración del régimen de caudales y alteración del régimen sedimentológico, mientras que para la alternativa en viaducto estos impactos serían leves. Los cambios generados en la escorrentía superficial serían significativos para el caso de la alternativa corte-relleno, mientras que para el caso de la alternativa en viaducto esta afectación podría ser moderada e incluso leve, teniendo en cuenta que este impacto se valoró como moderado como resultado del análisis de sensibilidad. En ninguno de los dos casos se prevén impactos significativos asociados a la alteración de los cuerpos hídricos o cambios en su calidad, debido a que no se contemplan modificaciones o afectaciones directas en los cauces. No obstante, según el análisis de la demanda de RN, la construcción de la alternativa corte-relleno demanda 35 veces más agua que la alternativa de viaducto, lo cual podría llegar a ser significativo para proyectos en donde el acceso a este recurso sea limitado.

En cuanto a la hidrogeología, podría esperarse que la afectación sobre el recurso hidrogeológico sea superior para una alternativa de viaducto, teniendo en cuenta las profundidades requeridas en la conformación de cimentaciones. En este caso se encontró la existencia de formaciones de acuíferos a lo largo del corredor, pero para proyectos en donde existan formaciones potencialmente afectadas durante la construcción, la afectación sobre este recurso podría ser decisiva.

Medio biótico:

La afectación sobre el medio biótico es mínima para la construcción de la alternativa de viaducto, al compararse con la alternativa corte – relleno. Esto se debe a que el área de intervención sobre el suelo de esta última es de 29.2 Ha, mientras que la alternativa de viaducto requiere la intervención de 5.67 Ha de suelo, lo cual indica una reducción del 80.6% de área intervenida. Vale la pena mencionar que en el escenario sin proyecto, el medio biótico se encuentra impactado por actividades de agricultura y ganadería, mientras que el medio abiótico se ve impactado por eventos naturales que activan procesos geológicos.

Los potenciales impactos asociados a la pérdida fauna, pérdida de cobertura vegetal y fragmentación de hábitats resultan ser significativos para el caso de la alternativa corte-relleno, mientras que para la alternativa en viaducto estos impactos resultan ser leves. La remoción de capa vegetal y los movimientos de tierras hacen que los impactos sobre el medio biótico sean más significativos para la alternativa corte-relleno, encontrando 5 impactos con esta clasificación dentro del medio biótico, mientras que para la alternativa en viaducto sólo se encuentra un potencial impacto significativo. No obstante, este último está asociado a la afectación del paisaje, cuya valoración es el resultado de suponer el escenario más crítico por el alto grado de subjetividad en su valoración.

La afectación de especies amenazadas y endémicas resulta ser mayor para el caso de la alternativa corte-relleno. De hecho, de acuerdo con el análisis de la demanda de RN, la cantidad de especies arbóreas afectadas por la construcción de la alternativa de corte relleno podría ser significativamente mayor con respecto a la alternativa de viaducto, con 2741 y 191 especies afectadas respectivamente.

Teniendo en cuenta la zonificación ambiental del proyecto, se puede afirmar que el trazado del corredor (ver figura 19), cruza áreas clasificadas como de “no intervención” e “intervención con restricciones”, como son: Rondas hídricas, (muy alta sensibilidad), bosques altos y vegetación natural, bosques de galería y ripario (alta sensibilidad) y vegetación secundaria y arbustales (media sensibilidad), las cuales sufren un impacto considerable en la alternativa corte – relleno, ya que para su construcción se requiere el

retiro de la cobertura vegetal y la tala de árboles, en la totalidad del ancho de la franja de intervención.

En la alternativa en viaducto, el impacto sobre las zonas catalogadas como de “no intervención” e “intervención con restricciones” es menor, ya que el retiro de cobertura vegetal y la tala de árboles es mínima (solamente se requieren en los puntos de cimentación). Teniendo en cuenta que el tránsito de vehículos no se realiza a nivel del suelo, la contaminación a corrientes naturales, así como la tala indiscriminada de árboles resulta ser menor⁹.

En general, desde el punto de vista de afectación sobre el medio biótico la alternativa en viaducto resulta menos impactante. Para el caso de estudio, al revisar los usos actuales del suelo en la caracterización del AID (Figura 15) se encuentra que los tramos a intervenir en su mayoría corresponden a zonas de uso agrícola y agropecuario, por lo que los ecosistemas del AID se encuentran modificados. Sin embargo, esta diferencia podría ser más significativa para proyectos situados en zonas en donde existan ecosistemas sin modificar o en donde sea deseable reducir la afectación de los mismos.

Medio Socio-Económico

Para el medio socio-económico se encuentra que los impactos potenciales más significativos corresponden a la generación de conflictos con la comunidad, generación de expectativas y generación de riesgos de accidentes. De acuerdo con los resultados de la evaluación estos impactos podrían ser significativos para la alternativa de corte-relleno y severos para la alternativa en viaducto. No obstante, esta diferencia podría deberse a que en la EvIA de la alternativa en viaducto se tomó el caso más crítico en el análisis de estos tres impactos por el principio de precaución de la gestión ambiental.

Para ambos casos, estos impactos pueden ser mitigados mediante la implementación de programas de seguridad y salud en el trabajo y con una comunicación oportuna y adecuada en la socialización del proyecto con la comunidad.

⁹ Los impactos “Contaminación de corrientes naturales y tala indiscriminada de árboles”, corresponden a la etapa de operación, la cual no es objeto de análisis en este documento.

La afectación del patrimonio arqueológico podría ser inferior en el caso de la alternativa de viaducto, dado que no se afectarían los tres caminos republicanos existentes a lo largo del corredor. Esto a juicio del autor sería una ventaja, desde el punto de vista de protección del patrimonio arqueológico y cultural.

7.3. Discusión

En general, se encuentra que los impactos sobre el medio biótico y abiótico resultan ser menores para la alternativa de viaducto, con excepción de la afectación del paisaje, que podría llegar a ser significativa por la naturaleza de estas obras. Esto podría llegar a ser decisivo para los casos en los que la zonificación ambiental del proyecto exija la conservación de zonas de importancia natural y/o con valor histórico y cultural.

Por otra parte, dada la falta de información detallada sobre la presencia o no de aguas subterráneas a las profundidades de cimentación del viaducto, el análisis del impacto negativo sobre el componente hidrogeológico fue algo limitado en este caso. La afectación sobre cuerpos hidrogeológicos podría ser decisiva a la hora de evaluar los impactos ambientales de una alternativa de viaducto, teniendo en cuenta las profundidades de las cimentaciones requeridas.

Para el caso del componente socio-económico se encontró que impactos tales como conflictos con la comunidad y generación de expectativas podrían llegar a ser significativos. No obstante, estos últimos dependen en gran medida de la implementación efectiva y oportuna de planes de socialización del proyecto.

Al revisar la demanda de RN, se encuentran condiciones más favorecedoras para el caso de la alternativa de viaducto desde una perspectiva de generación de residuos sólidos y requerimientos de ZODMES para su disposición. No obstante, vale la pena considerar que durante la etapa de operación y mantenimiento los impactos negativos podrían ser menores para el caso del viaducto con respecto a la alternativa corte – relleno, dado que esta última podría demandar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo con mayor frecuencia. De esta forma, este estudio se podría complementar con un análisis de ciclo de vida que permita comparar las implicaciones ambientales de las dos alternativas en términos de emisiones de CO₂ equivalentes.

Por otra parte, se estima que el costo de las obras de un viaducto es aproximadamente del 475%, por kilómetro de construcción. Al realizar la comparación global en el caso de estudio el sobre costo es del 383%, debido a la reducción de la longitud de recorrido del viaducto, con respecto a la alternativa de corte – relleno. En casos en los cuales se optimice la longitud de los viaductos al no seguir el trazado de otras alternativas, esta diferencia podría ser incluso menor. Vale la pena mencionar que desde un punto de vista de economía ambiental, esto se podría justificar en la internalización de costos ambientales de los proyectos de infraestructura.

En general, cada alternativa tiene diferentes ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental y la mejor alternativa ambiental dependerá de las condiciones del entorno afectado y zonificación ambiental de cada proyecto. Por lo tanto, vale la pena incorporar la evaluación comparada de impactos ambientales para diferentes procedimientos constructivos en el diagnóstico ambiental de alternativas de proyectos viales.

8. Conclusiones

- Se realizó una propuesta de trazado en viaducto, encontrando que longitud del tramo vial se reduciría en un 19.33% con respecto a la alternativa corte-relleno. El costo de construcción del viaducto resulta ser casi 4 veces mayor al de la alternativa corte-relleno.
- De acuerdo con el EsIA existente para la alternativa corte-relleno, la mayor afectación se presenta sobre los medios abiótico y biótico. En el escenario sin proyecto, el medio biótico se encuentra afectado por la agricultura y ganadería, con afectaciones asociadas a fragmentación de ecosistemas, afectación del paisaje y afectación de especies endémicas.
- De acuerdo con la EvIA de la alternativa en viaducto, los componentes más afectados por su construcción resultan ser la flora y el componente social, con impactos que incluyen afectación del paisaje, conflictos con la comunidad y generación de expectativas.
- Al realizar la evaluación comparada de impactos ambientales, se concluye que dado que el viaducto no se desarrolla a nivel de la superficie, los impactos negativos sobre el medio abiótico y biótico son menores con respecto a la construcción de la alternativa corte-relleno. Para el caso de estudio analizado, esta diferencia podría ser representativa dada la zonificación ambiental del proyecto, ya que el trazado atraviesa áreas de no intervención y de intervención con restricciones que suman el 67.62% del AID.
- Al revisar la demanda de RN, se encuentran condiciones más favorecedoras para la alternativa de viaducto desde una perspectiva de demanda de agua, generación de residuos sólidos, requerimientos de ZODMES para su disposición y cantidad de especies arbóreas afectadas. No obstante, la alternativa de viaducto demanda casi 6 veces más concreto y 9 veces más acero que la alternativa de corte-relleno. Para determinar la mejor alternativa ambiental desde el punto de vista de demanda de recursos naturales, se requiere complementar este estudio con un análisis de ciclo de vida.

- Cada alternativa tiene diferentes ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental y la mejor alternativa dependerá de las condiciones del entorno afectado y zonificación ambiental de cada proyecto. Por lo tanto, vale la pena incorporar la evaluación comparada de impactos ambientales para diferentes procedimientos constructivos en el diagnóstico ambiental de alternativas de proyectos viales.
- La alternativa de viaducto podría ser la mejor alternativa ambiental en zonas de protección ambiental o de reserva, justificando los costos asociados a su construcción en la internalización de impactos ambientales de los proyectos de infraestructura.
- Se requiere complementar este estudio con un análisis costo-beneficio, para determinar si el mayor costo de construcción de una alternativa como la de viaducto, se podría justificar en la internalización de los costos ambientales de los proyectos de infraestructura vial.

9. Recomendaciones

Teniendo en cuenta que este documento no incluyó en su alcance el análisis de la fase de operación, se recomienda que el presente trabajo sea tomado como base para realizar una evaluación comparada de los impactos ambientales generados por las alternativas corte – relleno y en viaducto durante dicha fase, incluyendo el estudio de valoración económica de impactos ambientales y el análisis costo beneficio ambiental, esto con el fin de despejar la incertidumbre que se genera al comparar los impactos ambientales de una alternativa en viaducto versus una de corte – relleno desde el punto de vista de inversión y beneficio económico que se puede obtener al proteger el medio ambiente.

El estudio se podría complementar con un análisis de ciclo de vida, que permita comparar las implicaciones ambientales de las dos alternativas en términos de emisiones de CO2 equivalentes, durante la producción de los insumos principales, así como las relacionadas por la operación de maquinaria en los diferentes procesos constructivos de cada alternativa.

Referencias

- Álvarez, C. (2012). *Exposición de motivos proyecto de Ley “por el cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte”* Recuperado de: <http://studylib.es/doc/7170039/exposici%C3%B3n-de-motivos-proyecto-de-ley-%E2%80%9Cpor-el-cual> el día 17 de enero del 2016.
- Beltrán, L., (2013). Área de Influencia. En Servicio de Consultoría para la Elaboración del “Manual Ambiental para Carreteras”, conclusiones del foro presencial. Administradora Boliviana De Carreteras. P.C.A. Ingenieros Consultores S. A. Recuperado de: http://pcaing.com/foro/docs/pdf/AREA_DE_INFLUENCIA.pdf
- Conesa, V. (2003). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Correal, D. (2010). *Viaducto Pipiral*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Recuperado de: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/download/1391/1109> el día 10 de enero del 2017.
- CITES-UNEP. (2016). *Apéndices I, II y III*. Recuperado de: <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2017/S-Appendices-2017-04-04.pdf> el día 08 de agosto del 2016.
- Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamente del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto 1078 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto 2041 de 15 de octubre de 2014. Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencia ambientales. (2014). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto 2820 de 2010. Por el cual se reglamenta el título VIII de la ley 99 de 1993 sobre licencias Ambientales. (2010). Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- García, A. (2014). *Proyecto de 4ª generación de concesiones y su encadenamiento productivo*. En Quinto Congreso de Transporte de pasajeros. ANI. Paipa-Boyacá. Recuperado de www.andi.com.co/Documents/CEE/.../Viernes/LuisFernandoAndrade.pptx
- Herrera, J. H. (1996). *Puentes*. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia.

- IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf> el día 27 de febrero del 2016
- Lora, K. I. (2012). *El principio de la precaución en la legislación ambiental colombiana*. Revista Actualidad Jurídica. Edición 3° y 4°.pp. 22-29. Recuperado de: <http://www.uninorte.edu.co/documents/4368250/4488389/El+principio+de+precauci%C3%B3n+en+la+legislaci%C3%B3n+ambiental+colombiana/c7e464c7-f69c-43e3-967d-f9d63ce1ca6f?version=1.0>
- MAVDT. Viceministerio de Ambiente. (2010). *Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales*. Recuperado de: http://www.anla.gov.co/documentos/normativa/metodologia_presentacion_ea.pdf el día 15 de agosto de 2016.
- Pérez, G. J. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. *Documentos de trabajo sobre Economía Regional*. Cartagena: Banco de la República. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-64.pdf> el día 02 de agosto de 2016.
- PNUMA-CMCM (Comps.) 2014. Lista de especies CITES. Secretaría Cites, Ginebra, Suiza y PNUMA-CMCM, Cambridge, Reino Unido. Recuperado de: https://cites.org/esp/resources/pub/checklist11/Indice_de_especies_CITES.pdf el día 23 de febrero de 2016
- Reinoso, L. F. (2014). *Criterios para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental*. Recuperado de: observatoriosu.ambiente.gob.ar/content/pdfinformacion/107.pdf el día 02 de agosto de 2016.
- Resolución 192 de 2014. Por el 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. (2014). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Resolución 289 de 2014. Por el cual se niega una Licencia Ambiental y se toman otras determinaciones. (2014). Autoridad nacional de Licencias Ambientales (ANLA).
- Resolución 383 de 2010. “Por el cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se toman otras determinaciones”. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- Resolución 610 de 2010. Por el cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. (2010). Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- SEMANART (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). *Guía para la presentación del estudio de riesgo modalidad análisis de riesgo*. México. Tomado de: http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGIRA/Guia/MIAParticularRiesgo/GuiasEstudioRiesgo/g_vias_generales.pdf el día 08 de agosto de 2016.
- TYPESA – CRA. (2013). *Diagnóstico ambiental de alternativas tramo I Bolombo – Santafé de Antioquia, sector K1 +084 al K5 +110, Capítulo III. Descripción de las alternativas*.
- Yepes, T., Ramírez, J. M., Villar, L., et al. (2012). *Infraestructura de Transporte en Colombia: ¿luz al final del túnel?*. En Noveno Congreso Nacional de la Infraestructura Cámara Colombiana de la Infraestructura. FEDESARROLLO, Cartagena. Recuperado de: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Infraestructura-de-Transporte-en-Colombia-Presentaci%C3%B3n-CCI-Nov19.pdf> el día 11 de enero del 2015.