
**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MONTEBONITO, PARA EL COMPONENTE FÍSICO, EN EL
CORREGIMIENTO MONTEBONITO, CALDAS, COLOMBIA.**

**MANUELA GRAJALES NOREÑA
PAULA MARIA NARANJO CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES, 2020**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MONTEBONITO, PARA EL COMPONENTE FÍSICO, EN EL
CORREGIMIENTO MONTEBONITO, CALDAS, COLOMBIA.**

**MANUELA GRAJALES NOREÑA
PAULA MARIA NARANJO CÁRDENAS**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE GEÓLOGA

DIRECTOR:

GEÓLOGO: CRISTIAN DAVID SALAZAR NARVÁEZ

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES 2020**

ACEPTACIÓN

Geólogo: Cristian David Salazar Narvález, profesor del Departamento de Ciencias Geológicas adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Caldas.

CERTIFICA:

Que MANUELA GRAJALES NOREÑA y PAULA MARIA NARANJO CÁRDENAS

Han realizado en el Departamento de Ciencias Geológicas adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Caldas y bajo su supervisión, el trabajo denominado:

EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MONTEBONITO EN LA ZONA CENTRO-ORIENTAL DE CALDAS, COLOMBIA Y COMPARACIÓN CON LOS IMPACTOS AMBIENTALES EVALUADOS POR LA EMPRESA DESARROLLADORA DEL PROYECTO.

.

Y para que conste, firmamos el presente certificado en Manizales.

El director:

Geólogo: Cristian David Salazar Narvález



Los estudiantes:

Manuela Grajales Noreña

Paula Maria Naranjo Cárdenas

1 Agradecimientos

Paula María Naranjo Cárdenas

Agradezco a mis padres por estar siempre presentes en cada paso que me acercó a lograr esta meta, por haberme animado en momentos donde más los necesitaba, por ayudarme a alcanzar mis sueños y apoyarme en cada momento. Agradezco a mi compañera y asesor de tesis, por la paciencia, dedicación y el amor por el conocimiento. Gracias a todos quienes forjaron este camino lleno de experiencia.

Manuela Grajales Noreña

“Establecer metas es el primer paso en volver lo invisible en visible” Anthony Robbins.

Agradezco primordialmente a Dios, a mi alma mater, porque fue el lugar donde labre mi camino, a todas las personas que aportaron en mi aprendizaje académico y personal, por el largo sendero recorrido para llegar a este momento. Además, a mi familia, amigos, compañera, asesor, y al programa Colombia científica, por hacer posible este trabajo

Tabla de contenido

1	<u>AGRADECIMIENTOS</u>	4
	TABLA DE CONTENIDO	5
	LISTA DE FIGURAS	7
	LISTA DE TABLAS	9
2	<u>RESUMEN</u>	12
3	<u>INTRODUCCIÓN</u>	13
4	<u>JUSTIFICACIÓN</u>	15
5	<u>OBJETIVOS</u>	17
5.1	OBJETIVO GENERAL	17
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
6	<u>NORMATIVA</u>	17
7	<u>METODOLOGÍA</u>	20
7.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	21
7.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	21
7.3	EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS EN MASA	21
7.3.1	AMENAZA	22
7.3.2	VULNERABILIDAD	23
7.4	EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	24
7.5	RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	26
8	<u>LOCALIZACIÓN</u>	28

9	<u>PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO</u>	29
9.1	GENERALIDADES	29
9.2	VÍAS	30
9.3	CAMPAMENTOS	30
9.4	OBRAS PRINCIPALES:	32
9.5	OBRAS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIAS:	34
9.6	ESTIMATIVOS DE LAS OBRAS DEL PROYECTO	35
9.7	PRESUPUESTO	36
10	<u>LÍNEA BASE</u>	37
10.1	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID).	37
10.2	GEOLOGÍA	38
10.2.1	GEOLOGÍA REGIONAL	39
10.2.2	GEOLOGÍA LOCAL, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA:	43
10.2.3	EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	45
10.2.4	FALLAS GEOLÓGICAS	46
10.3	GEOMORFOLOGÍA	48
10.3.1	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA ALTA DEL GUARINÓ	51
10.4	PAISAJE	58
10.4.1	UNIDADES DE PAISAJE DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PHM.	61
10.5	SÍNTESIS DE LÍNEA BASE	65
11	<u>EVALUACIÓN DEL RIESGO</u>	66
11.1	MOVIMIENTOS EN MASA	66
11.1.2	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PHM.	71
11.1.3	VULNERABILIDAD DE ELEMENTOS EXPUESTOS A MOVIMIENTOS EN MASA.	73
11.1.4	RIESGO AMBIENTAL POR MOVIENTES EN MASA.	75
11.2	INUNDACIONES	79
11.2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PHM.	80
11.2.2	AMENAZA POR INUNDACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PHM.	83
11.2.3	VULNERABILIDAD DE ELEMENTOS EXPUESTOS A INUNDACIONES:	85
11.2.4	RIESGO AMBIENTAL POR INUNDACIONES	88
11.3	CERCANÍA DE LAS VIVIENDAS A LAS INSTALACIONES	92

12	<u>EVALUACIÓN DE IMPACTOS</u>	<u>93</u>
13	<u>RESULTADOS</u>	<u>97</u>
14	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>113</u>
15	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>115</u>
15.1	GENERALES	115
15.2	MEDIDAS DE PREVENCIÓN	115
15.3	MEDIDAS DE CORRECCIÓN	117
15.4	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	118
15.5	MEDIDAS DE COMPENSACIÓN	119
16	<u>ANEXOS</u>	<u>121</u>
16.1	ANEXO MAPAS	121
16.2	ANEXO SALIDA DE CAMPO MONTEBONITO, CALDAS, COLOMBIA	122
16.2.1	ESTACIÓN: 042	122
16.2.2	ESTACIÓN: 043	123
16.2.3	ESTACIÓN: 044	124
16.2.4	ESTACIÓN: 045	125
16.2.5	ESTACIÓN: 046	126
16.2.6	ESTACIÓN: 051	126
16.2.7	ESTACIÓN: 052	127
16.3	ANEXO TABLAS DE INTERACCIÓN Y IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL, CON PHM	128
16.4	ANEXO TABLAS DE EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA AMBIENTAL EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL REALIZADAS CON BASE EN LA METODOLOGÍA DE PRADA, (2010), PARA LAS TRES ETAPAS DEL PHM.	134
17	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>140</u>

Lista de figuras

Figura 7.1 . flujograma de las etapas de desarrollo del presente trabajo. Elaboración propia.....	21
---	----

Figura 7.2. Esquema resumen de la metodología de (Prada, 2010), “Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia”. Elaboración propia.	27
Figura 8.1. Localización de Colombia en Suramérica. Departamentos que abarcan la cuenca del río Guarinó. Cuenca del río Guarinó ubicada en los departamentos de Tolima y Caldas. Mapa de alturas de la cuenca del río Guarinó. Elaboración propia.	28
Figura 10.1 Mapa de representación de las estaciones de campo. Zona de influencia directa del PHM. Los puntos del 048 al 052 indican el inicio de la zona de captación y los puntos del 042 al 047 el inicio de la descarga. Elaboración propia.	38
Figura 10.2. Mapa geológico regional de la cuenca alta del río Guarinó. El perfil comienza en la cota 3400msnm y termina en la cota 2000 msnm, en una extensión de 26 Km. Elaboración propia.	39
Figura 10.3. Cuarcita, donde se pueden observar el patrón de diaclasamiento, estación 052. Foto tomada por Manuela Grajales.	45
Figura 10.4 Mapa de unidades y ambientes geomorfológicas de la cuenca alta Guarinó. (Elaboración propia, basado en CORPOCALDAS, 2015).....	49
Figura 10.5. Curva hipsométrica de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.	54
Figura 10.6. Mapa Hidrológico de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.....	55
Figura 10.7 Perfil longitudinal del río Guarinó en el área de influencia directa. Elaboración propia.	56
Figura 10.8 Perfil longitudinal del río Guarinó en el AID en la sección A-B. Elaboración propia.	57
Figura 10.9 Perfil longitudinal del río Guarinó en el AID en la sección B-C. Elaboración propia.....	58
Figura 10.10. Mapa de cobertura y uso del suelo de la cuenca alta del río Guarinó. Elaboración propia.	59
Figura 10.11 Mapa de unidades de paisaje para la cuenca alta del río Guarinó. Elaboración propia.....	61
Figura 10.12 Mapa de Unidades de Paisaje para él área de influencia directa del PHM.....	62
Figura 10.13. Mapa de paisaje, encerrado en amarillo se encuentra el are afectar por el PHM. Elaboración propia.	65
Figura 11.1. Metodología usada para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en masa. Elaboración propia.	69
Figura 11.2. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	70
Figura 11.3. Cuadro representativo de la metodología utilizada para hallar la amenaza para movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.....	71
Figura 11.4. Mapa de amenaza por movimiento en masa en el AID del PHM Elaboración propia.	72
Figura 11.5 Mapa de vulnerabilidad a movimientos en masa en la zona de captación en el PHM. Elaboración propia.....	74
Figura 11.6 Mapa de vulnerabilidad a movimientos en masa en la zona de descarga en el PHM. Elaboración propia.....	75
Figura 11.7. Riesgo a movimientos en masa para la zona de captación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	78
Figura 11.8. Riesgo a movimientos en masa para la zona de descarga en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	79

Figura 11.9. Mapa de susceptibilidad del terreno a inundación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	82
Figura 11.10 Cuadro representativo de la metodología utilizada para hallar la amenaza en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	83
Figura 11.11 Mapa de amenaza por inundación en el área de influencia directa del PHM (Elaboración propia).	85
Figura 11.12 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en la zona de captación en el PHM. Elaboración propia.	87
Figura 11.13 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en la zona de descarga en el PHM. Elaboración propia.	88
Figura 11.14 Riesgo para la zona de captación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	91
Figura 11.15 Riesgo para la zona de descarga en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	92
Figura 11.16 Cercanía de predios al PHM (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	93

Lista de tablas

Tabla 6.1. Marco legal. Elaboración propia.	19
Tabla 7.1. Esquema de clasificación del riesgo. (Oroazul constructora ambiental, 2017).	22
Tabla 7.2. categorización de susceptibilidad para movimientos en masa e inundaciones. Elaboración propia.	23
Tabla 7.3 Descripción de la calificación de vulnerabilidad para los elementos expuestos. Tomado y modificado de (EPM Ituango, 2011).	23
Tabla 7.4 Esquema general para la evaluación de la importancia ambiental respecto a 6 variables cualitativas ambientales. (Prada, 2010).	24
Tabla 7.5. Síntesis valoración de atributos cualitativos en la Determinación de la Importancia ambiental en función de la calidad ambiental, modificado de Prada, (2010).	25
Tabla 7.6. Criterios de valoración ambiental (Prada, 2010).	26
Tabla 9.1 Localización de vías por construir y rehabilitar en el PHM. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	30
Tabla 9.2 Esta tabla representa las construcciones de campamentos, taller, estación de combustible y la línea de energía. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	31
Tabla 9.3 Características de las obras principales a construir dentro del proyecto hidroeléctrico. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	32
Tabla 9.4 Esta tabla representa las obras que serán derivadas de las obras principales y además algunas serán solo temporales en la fase de construcción. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	34
Tabla 9.5 Material necesario para la construcción de las obras principales. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	35
Tabla 9.6 Inversión del proyecto para su realización oportuna. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).	36
Tabla 10.1 Geología regional de la zona de la cuenca alta del río Guarinó. Descripciones, edades y contactos geológicos son descritos en esta tabla. (Tomado y modificado del CORPOCALDAS, 2015)	40

Tabla 10.2. Descripción unidades geomorfológicas. Basado en (CORPOCALDAS, 2015).	49
Tabla 10.3. Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca. Elaboración propia.....	52
Tabla 10.4. Parámetros morfométricos de relieve de la cuenca. Elaboración propia.	52
Tabla 10.5. Datos para la generación de la curva hipsométrica de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.	53
Tabla 10.6. Parámetros morfométricos relativos al drenaje de la cuenca. Elaboración propia.....	54
Tabla 10.7. Leyenda del mapa Cobertura y uso del suelo, cuenca alta del río Guarinó, (Ardila et al., 2010). Elaboración propia.	59
Tabla 10.8 Clasificación de código de Unidades de Paisaje en el área de influencia directa.	62
Tabla 11.1. Susceptibilidad para las unidades de paisaje en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.....	67
Tabla 11.2 Instalaciones proyectadas por el PHM, elementos expuestos a amenaza por inundaciones. Elaboración propia.	73
Tabla 11.3 Categorización del riesgo ambiental por inundaciones en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	75
Tabla 11.4 Susceptibilidad del área de influencia directa del PHM (Elaboración propia).	80
Tabla 11.5 Instalaciones proyectadas por el PHM, elementos expuestos a amenaza por inundaciones. Elaboración propia.	86
Tabla 11.6 Categorización del riesgo ambiental por inundaciones en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.	89
Tabla 12.1 Matriz de interacción de los eventos naturales y las actividades antrópicas sin PHM con los factores ambientales. Las “X” indican interacción. Elaboración propia.....	94
Tabla 12.2. Matriz de identificación de impactos ambientales sin el PHM La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.	95
Tabla 12.3. Matriz de identificación de impactos ambientales en el PHM, para la fase de operación y abandono. La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.	96
Tabla 12.4. Importancia ambiental del impacto en función de la calidad ambiental, Para la actividad de voladura. Elaboración propia.	97
Tabla 13.1 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, sin medidas de manejo. Elaboración propia.	99
Tabla 13.2 Continuación de la Tabla 13.1, calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, sin medidas de manejo. Elaboración propia.	100
Tabla 13.3 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de operación y abandono, sin medidas de manejo. Elaboración propia.	102
Tabla 13.4 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, con medidas de manejo. Elaboración propia.....	104
Tabla 13.5 Continuación de la Tabla 13.4, calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, con medidas de manejo. Elaboración propia.	105

Tabla 13.6 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de operación y abandono, con medidas de manejo. Elaboración propia.....	107
Tabla 13.7 Número de impactos totales generados por el PHM, para cada valoración, sin aplicar medidas de manejo. Elaboración propia	108
Tabla 13.8 Número de impactos totales generados por el PHM, para cada valoración, con aplicación de medidas de manejo. Elaboración propia	108
Tabla 13.9 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de construcción. Elaboración propia	110
Tabla 13.10 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de construcción. Continuación de la Tabla 13.9. Elaboración propia	111
Tabla 13.11 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de operación y abandono. Elaboración propia	112
Tabla 13.12 Número total de impactos jerarquizados dentro de las 4 categorías de prevención, corrección, mitigación y compensación. Elaboración propia	113

2 Resumen

Un estudio de impacto ambiental (EslA), es un documento en el que se presenta el nivel de afectación frente a la construcción de cualquier tipo de proyecto y los planes necesarios para evitar al máximo esta afectación. Para determinar qué tanta incidencia tendrá un proyecto en un área dada, se requiere hacer una evaluación tanto como de las condiciones de riesgo como los impactos ambientales que el proyecto generará. Un impacto ambiental es cualquier tipo de cambio que se genere en un lugar debido a alguna actividad u obra antrópica. En las evaluaciones de impactos ambientales se deben considerar tres componentes: físico, biótico y social. Por otro lado, la evaluación de la gestión del riesgo es una herramienta primordial para analizar el grado de peligro que enfrenta un elemento en una zona a un evento amenazante. Los eventos amenazantes pueden ser movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, incendios, sismos, huracanes, entre otros. Para la gestión del riesgo es de vital importancia realizar planes que eviten al máximo el desastre que puedan causar estos eventos.

Para este trabajo, se realiza la evaluación de la gestión del riesgo y los impactos ambientales potenciales en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Montebonito, para el componente físico, en el corregimiento Montebonito, Caldas, Colombia. Para esta evaluación se estudia la normativa y los términos de referencia con los que deben evaluarse las PCH, se expone el planteamiento del proyecto, se construye una línea base conformada por los factores ambientales que serán impactados por el PHM, se construye el análisis del riesgo a movimientos en masa e inundaciones, por medio de la categorización de la susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad que presenta el Proyecto Hidroeléctrico Montebonito (PHM), dentro de su área de influencia sobre el terreno. Finalmente se realiza la evaluación ambiental a través de metodología de Martínez Prada en 2015.

Dentro de la evaluación de gestión del riesgo se obtiene que las zonas de mayor riesgo para movimientos en masa son todas aquellas zonas donde el paisaje están conformado por laderas estructurales con coberturas de pastizales o áreas agrícolas en las cuales se ubican instalaciones del PHM como el desarenador, las vías, etc. El mayor riesgo por inundaciones se ubica en las zonas de valles, por donde recorre el río Guarinó, afectando las instalaciones como la construcción de la captación y descarga.

En la evaluación de los impactos ambientales se analizaron 123 impactos, los cuales varían desde irrelevante hasta críticos. Se encontró que el paisaje es el factor de mayor impacto dentro del PHM por actividades como voladura dentro de la construcción, las descargas al río en la operación y el abandono de infraestructura en la etapa de abandono.

En conclusión, el Proyecto Hidroeléctrico Montebonito, debe hacer estudios más detallados de diseño de infraestructura, análisis del riesgo y una evaluación de impactos más objetiva, que le asegure a la comunidad del corregimiento de Montebonito, que el proyecto se construye de manera responsable y amigable ambientalmente.

3 Introducción

Un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es un documento obligatorio para especificar todo tipo de obras y actividades que pueda generar un cambio en el medio ambiente por acciones antrópicas y las maneras de evitar al máximo la degradación de los medios. Este estudio debe contener la evaluación de tres ámbitos que conforman el lugar en el que se pretende realizar el proyecto: el medio abiótico (físico), el medio biótico y el medio socioeconómico. Para la evaluación de estos componentes, se requiere un equipo multidisciplinar que tenga la capacidad de analizar, detallar, describir y planificar, una serie de interacciones que genera el proyecto con el medio ambiente y así mismo evaluar las medidas preventivas o de corrección que se necesiten sobre los efectos negativos que pueda generar la ejecución del proyecto.

El EsIA debe ser examinado por las autoridades ambientales correspondientes para permitir o no, la realización de las obras propuestas por el equipo en el EsIA. Cuando el proyecto es avalado por las Corporaciones Autónomas, se otorga la llamada Licencia Ambiental, la cual debe ser aprobada antes de comenzar la ejecución del proyecto. Las licencias ambientales se estipularon con la ley 99 de 1993 dentro de la Constitución Colombiana y ha sufrido diferentes cambios a través de los años, convirtiéndose cada vez en un documento más estricto y exigente con las obligaciones y diseños que tienen las empresas frente a la utilización del espacio donde se pretende realizar los proyectos, con la finalidad de evitar al máximo los daños irreversibles en el medio. Debido a lo anterior, es que los equipos desarrolladores de los EsIA, deben estar muy capacitados, gracias a que es de suma importancia toda la información primaria y secundaria que se pueda obtener sobre la zona de influencia del proyecto, para así poder convertirla en indicadores ambientales que permitan comunicar a todas las comunidades los cambios a los que se verá impactado el espacio geográfico.

Para realizar una evaluación de impacto ambiental es necesario conocer las condiciones de riesgo a las que se ve enfrentado un proyecto frente a eventos naturales que puedan destruir la infraestructura o daños al personal encargado de la construcción y operación del proyecto. El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia, “Una estrategia de desarrollo” es el instrumento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres creado por la Ley 1523, que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de la planificación del desarrollo nacional.

Como un ejemplo de lo anterior, la empresa que desarrolla el Proyecto Hidroeléctrico Montebonito (PHM), presentó el EsIA, en el año 2010 y posteriormente su licencia ambiental se otorgó para el año 2011.

Este trabajo busca realizar un modelo de gestión del riesgo frente a movimientos en masa e inundaciones y la evaluación de los factores ambientales que se prevé serán afectados por la construcción, operación y abandono del PHM, para así lograr conocer cuáles son los impactos que se

generarán en el componente del espacio físico en el que se localiza el PHM. Además de la evaluación, se debe realizar la comparación entre los resultados de la evaluación de impactos que arrojó el EIA del PHM y los resultados de la misma evaluación, obtenidos a lo largo de este estudio.

La importancia de este trabajo se centra en ayudar a la comunidad de Montebonito a obtener una información técnica, en la cual pueda entenderse las dinámicas físicas en las que interviene el PHM, y de esta manera estimar la efectividad y veracidad de los datos arrojados por el estudio de impacto ambiental del PHM.

Una de las herramientas que permite la realización de este trabajo es la implementación de una metodología analítica adecuada que sirva de base para próximos estudios de evaluaciones de impactos; por lo tanto, se recurre a la metodología adoptada por Martínez Prada, 2010, y será descrita en el subcapítulo 7.3.

Se enfoca en el área del conocimiento de la Geología Ambiental, la cual se encarga de la evaluación de los impactos ambientales generados de manera natural y antrópica. También, es importante para el conocimiento de las entidades territoriales abarcar una mayor información acerca de las dinámicas de las zonas más apartadas de los centros poblados y así mismo poder ofrecerles mejores servicios y ayudas para el desarrollo óptimo de estos lugares; esto quiere decir que la Geología no es solo una rama científica que se encarga de estudiar los procesos y fenómenos naturales que puedan ser aprovechados económicamente, sino que también es una rama científica que puede ser enfocada socialmente y que al haber un buen estudio puede garantizar las bases necesarias para generar un excelente desarrollo de una comunidad.

El orden en el que se pretende desarrollar este estudio se trata de abarcar los objetivos principales, explicar cuál es la normativa que rige los EsIA en Colombia para el desarrollo de Hidroeléctricas, ubicar al lector espacialmente utilizando los mapas de localización y se realiza el planteamiento del proyecto. Seguido de esto, para realizar la evaluación y comparación de impactos, es necesario obtener información primaria y secundaria técnica de la zona, es por ello, que se realiza el capítulo de línea base en el cual se explica la geología, geomorfología, el uso del suelo, las cuencas abastecedoras y la geotecnia del área de influencia del proyecto. Después de que se obtiene esta información, se elabora el capítulo de gestión del riesgo ambiental, en el cual se describe la susceptibilidad del área de influencia directa (AID) para el PHM, la amenaza y por último el riesgo. Con base en lo anterior, se desarrolla el capítulo de evaluación de impactos ambientales, en el cual se expone cuáles son los impactos ambientales que genera la construcción del PHM y las medidas de prevención, mitigación, compensación y corrección propuestas para la disminución de la importancia de los impactos.

A continuación, se reúnen las conclusiones del trabajo, en las cuales se desarrolla una serie de resultados acerca de cuál es el impacto más relevante, la acción que lo genera, el factor ambiental más afectado y qué medida puede ser implementada para disminuirlo.

Finalmente, se proponen recomendaciones para la comunidad del PHM y para la empresa desarrolladora del proyecto con el fin de que se evidencien las pruebas técnicas obtenidas en este trabajo de los impactos reales y los vacíos encontrados dentro del diseño del proyecto.

4 Justificación

Uno de los proyectos que cabe dentro del proceso de licenciamiento ambiental, es el Proyecto Hidroeléctrico Montebonito (PHM) desarrollado por la empresa Latinoamericana de Construcciones (LATINCO S. A.), el cual se trata de la construcción de una hidroeléctrica a filo de agua, en el cual se busca aprovechar los recursos hídricos del río Guarinó. Este proyecto está propuesto para construirse dentro del corregimiento Montebonito, el cual se encuentra a 60 Km hacia el noreste de la ciudad de Manizales dentro de la jurisdicción municipal del municipio de Marulanda en el departamento de Caldas, Colombia. La cuenca alta del río Guarinó abarca desde su nacimiento en el municipio Marulanda hasta la desembocadura del río Perrillo. Es decir que, alrededor de 33 veredas, recogen el recurso hídrico del río Guarinó para el abastecimiento de sus necesidades básicas (económicas y domésticas).

La empresa que lidera la construcción de este PHM presentó el estudio de impacto ambiental en el 2010 como prerrequisito para la obtención de la licencia ambiental, obligatorio por la ley 99 de 1993 para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Posterior a ese estudio de impacto ambiental el 17/02/2011 se le concedió a la empresa la licencia ambiental.

Como se menciona anteriormente, las comunidades dentro de las que se desarrolla un proyecto es uno de los factores que deben ser evaluados dentro del EsIA debido a las políticas diversas y las diferentes actuaciones de grupos al margen de la ley. El corregimiento Montebonito, ha sido un lugar afectado por estos grupos desde hace años, y ahora se considera una zona de posconflicto. Es de resaltar, que las actividades económicas se han basado a lo largo del tiempo en la agricultura, la ganadería y la pesca.

El desarrollo de hidroeléctricas en Caldas presenta antecedentes que inquieta y preocupa a la comunidad de Montebonito; un ejemplo de ello ha sido la hidroeléctrica el EDÉN ubicada en Bolivia (Pensilvania-Caldas), que obtiene su recurso hídrico del río la Miel para su funcionamiento, donde el agua es conducida a través de un túnel de 5,825 Km para generar 20 Megavatios. En la licencia ambiental se estipula que la infiltración del túnel de conducción puede ser de máximo 17 litros/segundo, pero desde abril de 2014 se registraron infiltraciones de hasta 70 litros/segundo, lo cual generó sequía en las fuentes hídricas superficiales (Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, 2014) y debido a las infiltraciones, se han generado grandes problemas en la comunidad por falta de agua. Debido a que ambas hidroeléctricas (El Edén y Montebonito) son a filo de agua y requieren la construcción de túneles de conducción, la comunidad de Montebonito presenta un creciente temor en el que se cree se van a perder los recursos hídricos superficiales (sequía) de la cuenca del río Guarinó y la biodiversidad de la zona.

El programa Colombia Científica y la Clínica Socio Jurídica de la Universidad de Caldas tiene como objetivo la defensoría jurídica que sea de interés público, dentro de esto se pretende abordar el ejercicio del derecho de una manera más amplia y pública. Esta alianza ha permitido que diferentes comunidades alrededor del país puedan acceder a asesorías y representaciones jurídicas cuando se cree que sus derechos están siendo vulnerados de una u otra forma. Allí entra la comunidad del corregimiento Montebonito donde ellos solicitan un acompañamiento frente al desarrollo de la hidroeléctrica.

Todo lo anterior manifiesta el por qué es pertinente realizar este estudio técnico, donde se espera beneficiar a la comunidad aportando información técnica, real y neutra acerca de la situación actual ambiental en la cual se encuentra el área de influencia del PHM cuenca del río Guarinó y los posibles impactos que puede generar la construcción de este proyecto, puesto que con base en esto, ya se tiene un conocimiento mayor y más certero con el cual se puedan comenzar a tomar decisiones mejor argumentadas para su adecuada uso de los derechos colectivos.

El principio de precaución definido por la Ley 99 de 1993 como "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". Este principio importante debido a que, en los proyectos hidroeléctricos durante sus etapas de construcción, operación y abandono, generan diferentes impactos ambientales positivos y negativos, un análisis cualitativo y cuantitativo de los impactos ambientales generara base científica para impedir daños al medio ambiente. Por lo tanto, en caso de que el Proyecto Hidroeléctrico Montebonito no cumpla con los requerimientos técnicos y los diseños adecuados del proyecto, el principio de precaución puede ser utilizado para pedir a la empresa la revisión de la información técnica completa.

Cabe resaltar que, el alcance de este trabajo es la evaluación de la gestión del riesgo para eventos de movimientos en masa e inundaciones dentro del AID del Proyecto Hidroeléctrico Montebonito y la determinación los impactos ambientales del medio físico.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

- Evaluación de la gestión del riesgo y los impactos ambientales potenciales en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Montebonito, para el componente físico, en el corregimiento Montebonito, Caldas, Colombia.

5.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el área de influencia del medio físico, por medio de la construcción de línea base con los factores ambientales de geología, geomorfología y paisaje, a través de recopilación de información primaria y secundaria, que permitan el conocimiento del terreno y el espacio físico que será ocupado y afectado por el PHM.
- Evaluar los impactos ambientales en la zona de influencia del PHM en el corregimiento Montebonito-Caldas-Colombia, mediante la metodología analítica propuesta por Martínez Prada, 2010, en la cual se proponen escenarios de identificación de impactos y su relación con los factores ambientales.
- Jerarquizar los impactos ambientales obtenidos de la identificación y evaluación ambiental, lo que permite determinar el nivel de afectación que le imprimen los impactos ambientales al terreno.
- Analizar los resultados de la evaluación ambiental para estimar las medidas de control que deben aplicarse dentro del PHM para disminuir el nivel de afectación de los impactos ambientales.
- Realizar recomendaciones ambientales que puedan orientarse a la mitigación, corrección, prevención o compensación de los impactos ambientales a través de un modelo analítico.

6 Normativa

El licenciamiento ambiental no se reduce únicamente al otorgamiento de un permiso, es un proceso integral que está dirigido a prevenir daños irreversibles, a optimizar la toma de decisiones y a garantizar, de acuerdo con la Constitución Política, la participación de las comunidades que puedan ser afectadas por la toma de decisiones que tengan implicaciones ambientales. Asimismo, el proceso de licenciamiento ambiental es el instrumento que permite asegurar que los proyectos, obras o actividades que por su naturaleza generan impactos significativos, sean objeto de evaluación, y permite que los proyectos que se califiquen como ambientalmente viables, se planifiquen, ejecuten, operen y desmantelen (en caso de requerirse), aplicando medidas que de forma jerárquica eviten, mitiguen, corrijan y en última instancia, compensen los impactos ambientales que puedan ocasionar. La metodología para la elaboración y presentación de un estudio de impacto ambiental se muestra en la Figura 6.1.



Figura 6.1. Esquema explicativo de la metodología general para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Elaboración propia.

El EIA cumple un papel fundamental en materia de eficiencia en la utilización de los recursos naturales, el adecuado desarrollo de este instrumento, puede contribuir a la sostenibilidad ambiental de los proyectos y su entorno. La Resolución 1255 del 30 de junio de 2006, acoge términos de referencia HET-TER-1-01 para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, para centrales hidroeléctricas, las cuales son generales como si fuera cualquier otro tipo de proyecto. Al 2010, la Resolución 1503 de 2010, refiere la metodología y términos de referencia de estudios Ambientales, los cuales son más específicos que los del 2006, además, tienen en cuenta el tipo de proyecto y su interacción en el ambiente. De manera análoga, modificaciones adicionales de los términos de referencia fueron emitidas en el 2017 y 2019. En estos cambios en la normativa, restringe y garantiza un direccionamiento específico a los proyectos, y exige un estudio detallado en el contenido mínimo de los medios físicos, bióticos y socio-económicos.

Cabe resaltar, que el EIA, para el caso del PHM se realiza bajo los términos de referencia del 2006 y se le otorgó la licencia ambiental bajo esta metodología. La cual, está regida a una normativa diferente a la que rige actualmente, con una diferencia de 14 años de restricciones ambientales. Las restricciones, que incorporan la metodología, contienen, aspectos que actualmente al presentar el EIA puede modificar la

aceptación de este instrumento. Ya que, las metodologías anteriores son descriptivas y la actual es más demostrativa.

El marco legal que rige al PHM se muestra recopilado en la Tabla 5.1 y se encuentra dividido por temas ambiental para su entendimiento.

Tabla 6.1. Marco legal. Elaboración propia.

Generales	Constitución Política de Colombia de 1991.
	Decreto 2811 de 1974, Código de los Recursos Naturales.
	Ley 56 de 1981 en el capítulo II. Impuestos, compensaciones y beneficios.
	Ley 99 de 1993, por la cual se crea el ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Y el Decreto 141 de 2011, por el cual se modifican los artículos 24, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 37, 44, 45, 65 y 66 de la Ley 99 de 1993, y se adoptan otras determinaciones.
	Ley 142 de 1994, establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios.
	Decreto 23440 de 2004, por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones
	Resolución 1255 del 30 de junio de 2006 “Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas para proyectos puntuales y se adoptan otras determinaciones”
	Resolución 1280 de 2006, Acoge los términos de referencia HE-TER-1-01 para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la Construcción y Operación de Centrales Hidroeléctricas
	Resolución 1255 del 30 de junio de 2006 “por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas para proyectos puntuales y se adoptan otras determinaciones”
	Resolución 1503 de 2010, Metodología y términos de Estudios Ambientales, MAVDT, Incluye la evaluación económica de los impactos positivos y negativos del proyecto.
	Decreto 2820 de 2010, por el cual se reglamenta el Título VII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. El presente decreto deroga el Decreto 1220 de 2005. Artículo 18 y 23 establece el desarrollo de evaluación de la evaluación del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA).
	Ley 1523 de 2012, Política nacional de gestión del riesgo de desastres) y la normativa sectorial específica, o aquella que la modifique, sustituya o derogue, que se soporte en el análisis y valoración de los riesgos derivados de amenazas.
	Decreto 1076 de 2015, por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.
	Decreto 2041 de 2014, por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
Resolución 1519 de 2017 por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA) de los proyectos hidroeléctricos.	

7 Metodología

A continuación, se describe la metodología usada para el desarrollo de este trabajo.

En la Figura 7.1, se muestra un flujograma general de las etapas de desarrollo del presente trabajo, los pasos realizados fueron principalmente, la recopilación de información secundaria y corroboración de información a partir de información primaria. Posteriormente, se realizó la evaluación de los impactos ambientales en el medio físico, que arroja la categorización de impactos que permite la jerarquización de los impactos ambientales, y para finalizar una comparación entre matrices de evaluación de impactos. Lo anterior mencionado, permite llegar a los resultados, conclusiones y recomendaciones del trabajo (plan de manejo ambiental).

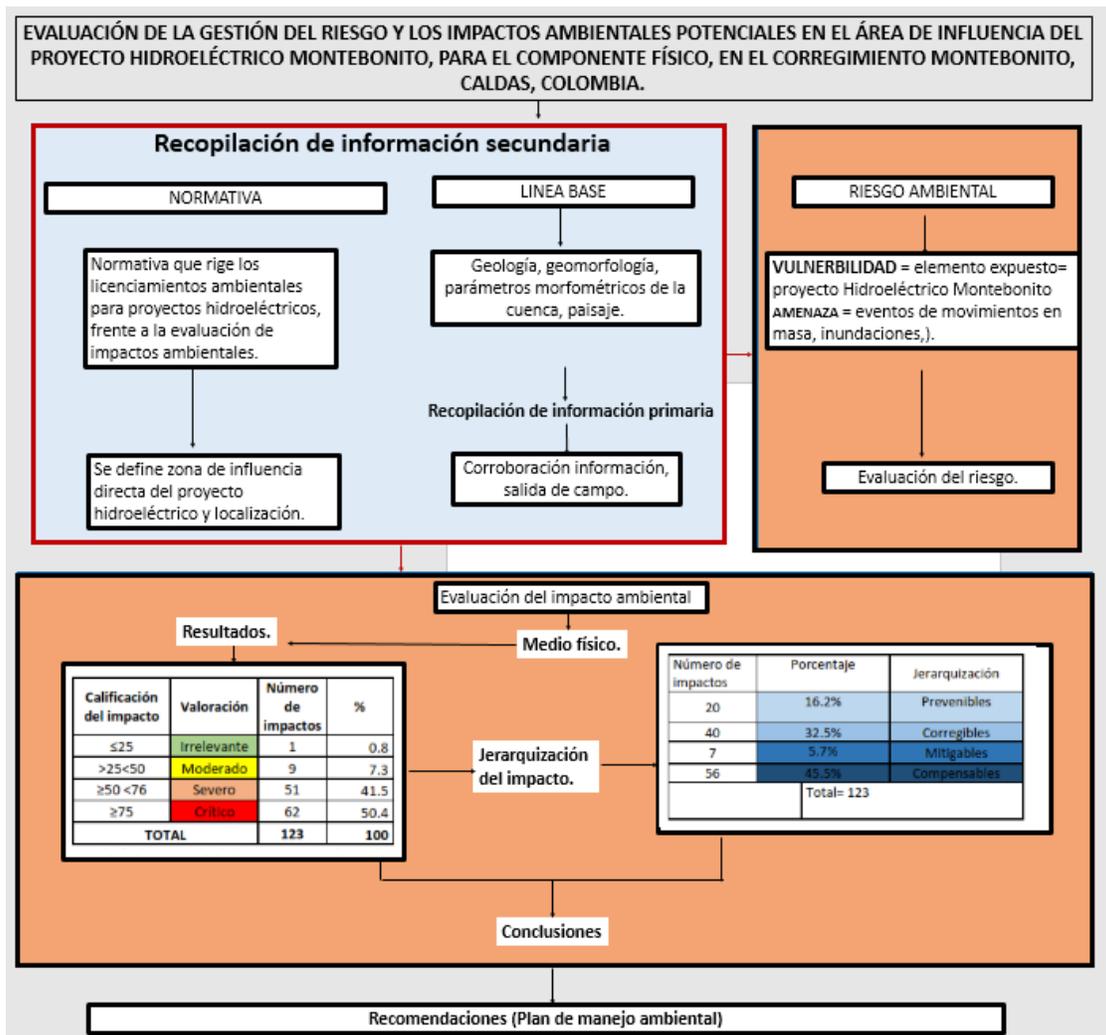


Figura 7.1 . flujograma de las etapas de desarrollo del presente trabajo. Elaboración propia.

7.1 Recopilación de información secundaria

Para el capítulo 7, normativa, se recopiló la información frente a la normativa que rige los licenciamientos ambientales para proyectos hidroeléctricos, frente a la evaluación de impactos ambientales.

Se desarrolló una recopilación bibliográfica del estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico 2010, presentado por la empresa desarrolladora a CORPOCALDAS, con el cual le otorgan la licencia ambiental, a partir de esta información se desarrolló el capítulo 9, planteamiento del PHM, donde se describe el proyecto, y el capítulo 14, comparación de impacto ambiental.

Por otro lado, se recopila información del Plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica (POMCA) Guarín (CORPOCALDAS, 2015). Con el cual, se obtiene los datos de entrada para las salidas cartográficas del capítulo 10, línea base. El capítulo de línea base, consta de los subcapítulos de geología, geomorfología, parámetros morfométricos de la cuenca, cobertura y uso del suelo, fuentes hídricas. Además, se realiza un capítulo de geotecnia donde se evalúa la estabilidad del terreno a partir de la evaluación del riesgo de la zona. El riesgo, es evaluado con la amenaza de movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios. Y, la vulnerabilidad evaluada con el elemento expuesto que es la zona de influencia del PHM.

7.2 Recopilación de información primaria

Se realizó una salida de campo, donde se visitó la zona de influencia del proyecto, zona de captación y descarga. Se levantó información geológica y geomorfológica, confirmando la información cartográfica existente de la zona.

7.3 Evaluación del riesgo por inundaciones y movimientos en masa

La evaluación del riesgo es una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

El riesgo se entiende como la destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas (Tabla 7.1), matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio, en un cierto período; la diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad que se presenten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no solo

con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos de ser afectados por el evento (Consortio HTA, 2008).

El riesgo asociado a la ocurrencia de eventos de inundaciones o movimientos en masa que producen impactos sobre una cantidad pequeña o moderada de elementos expuestos se conoce como riesgo extensivo, este riesgo está asociado a eventos con baja intensidad y mayor recurrencia.

El riesgo tanto para movimientos en masa e inundación es calculado según la siguiente ecuación:

$$R: A \times V$$

R: Riesgo

A: Amenaza

V: Vulnerabilidad

Tabla 7.1. Esquema de clasificación del riesgo. (Oroazul constructora ambiental, 2017).

AMENAZA	VULNERABILIDAD	TIPO DE RIESGO
A	A	A
A	M	A
A	B	M
M	A	A
M	M	M
M	B	M
B	A	M
B	M	M
B	B	B

7.3.1 Amenaza

Según UNISDR (2009), la Amenaza se define como *“un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”*

Generalmente, la amenaza se asocia con la posibilidad a que un fenómeno ocurra.

La metodología para la evaluación de la amenaza de movimiento en masa e inundaciones consiste en el cálculo de la susceptibilidad del terreno (características intrínsecas del terreno) cruzado con los factores

detonantes (ej. precipitación). La metodología detallada para los diferentes eventos amenazantes se encuentra en el numeral 11, capítulo de resultados evaluación del riesgo.

La susceptibilidad se categoriza de 1 a 5, como se muestra en la Tabla 7.2, la amenaza se categoriza de 1 (baja) a 3 (alta) siendo 1 el menor valor.

Tabla 7.2. categorización de susceptibilidad para movimientos en masa e inundaciones. Elaboración propia.

Susceptibilidad	
Categoría	Calificación
1	Muy baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy alta

7.3.2 Vulnerabilidad

Según UNISDR (2009), la vulnerabilidad se define como *“Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”*

Los elementos Expuestos son las instalaciones del PHM, susceptibles a ser afectadas por la ocurrencia de inundaciones o movimientos en masa. Para establecer la vulnerabilidad de la infraestructura se utilizó la clasificación que se muestra en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Descripción de la calificación de vulnerabilidad para los elementos expuestos. Tomado y modificado de (EPM Ituango, 2011).

Categoría	Descripción	Calificación
Insignificantes	Genera consecuencias de baja intensidad, puntuales, fugaces, puntuales, fugaces, de efecto secundario y recuperables de manera inmediata o reversibles en el corto plazo. No se producen lesiones personales o incapacitantes.	Baja
Leves	Genera consecuencias de mediana intensidad, puntuales, temporales, de efecto directo y recuperable o reversible en el mediano plazo. Ocasionan lesiones leves o incapacidad temporal a las personas.	Media
Alta	Genera consecuencias de alta intensidad, extensas, temporales, de efecto directo, mitigable o reversible en el largo plazo. Generan lesiones graves o incapacidad parcial permanente a las personas.	Alta

7.4 Evaluación de impactos ambientales

Para la evaluación de impactos ambientales del medio físico del Proyecto Hidroeléctrico Montebonito, se adoptó la metodología propuesta por Prada (2010), la cual incorpora un análisis conceptual y teórico de los criterios que se deben elegir para la valoración de la importancia ambiental de los impactos en función de la calidad ambiental dentro del contexto colombiano. En este análisis, se utilizan las medidas de manejo ambiental para la valoración neta del impacto, de tal manera que se pueda estimar el impacto real causado por el proyecto.

En este estudio se evalúan dos escenarios, uno sin medidas de manejo ambiental y otro con medidas de manejo ambiental, con el fin de establecer la viabilidad o no viabilidad del proyecto, para generar seguridad en la toma de decisiones que logren evitar el detrimento del patrimonio ambiental y garanticen el camino hacia un desarrollo sostenible para el país.

Dentro del escenario con proyecto se evalúan, los impactos ambientales se analizan respecto a 6 variables cualitativas sin medidas de manejo y, con medidas de manejo se añaden dos variables más. Las variables que se evalúan sin medidas de manejo son las siguientes : a) Extensión (EX): evalúa el área total en la que se genera el impacto; b) Sinergia (SI): evalúa si el impacto genera otros impactos o no; c) Intensidad (IN): se evalúa en función de la vulnerabilidad y la importancia del impacto ambiental para determinar el grado de fuerza con el que se presenta el impacto; d) Reversibilidad (RV): evalúa si el factor ambiental puede o no, volver a sus condiciones iniciales; e) Acumulación (AC): evalúa el incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de manera reiterada la acción que lo genera; f) Periodicidad (PR): evalúa el nivel de cambio que se genera en el factor afectado. Para la evaluación de la importancia de los impactos con medidas de manejo ambiental, se utilizaron las variables mencionadas anteriormente y se añadieron las 2 siguientes: a) Tiempo de recuperación (TR): evalúa tiempo que tarda el factor ambiental en recuperarse luego de aplicar medidas de manejo ambiental y b) Eficacia (EF): evalúa la capacidad que tienen las medidas de manejo ambiental para lograr disminuir el nivel de afectación que se causará o se ha causado sobre el factor ambiental por la actividad. (Tabla 7.4). Para la valoración de los atributos cualitativos anteriormente mencionados, se utilizó los rangos de la Tabla 7.5.

Tabla 7.4 Esquema general para la evaluación de la importancia ambiental respecto a 6 variables cualitativas ambientales. (Prada, 2010).

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Actividad										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I(CA)N	I(NET)O(N)	
FACTOR AMBIENTAL 1	Impacto ambiental 1											
	Impacto ambiental 2											
FACTOR AMBIENTAL 2	Impacto ambiental 3											

Tabla 7.5. Síntesis valoración de atributos cualitativos en la Determinación de la Importancia ambiental en función de la calidad ambiental, modificado de Prada, (2010).

VARIABLES		RANGO DE PONDERACIÓN (%)	CALIFICACIÓN CUALITATIVA	VALOR
IN	INTENSIDAD	14%-25%	Muy baja	1
			Baja	2
			Morada Baja	3
			Media	4
			Moderada alta	5
			Alta	6
			Muy alta	7
EX	EXTENSIÓN	17.9%-25%	Puntual	1
			Local	2
			Regional	3
			Nacional	4
			Trasnacional	5
SI	SINERGIA	0%-7.1%	Sin sinergismo	0
			Sinérgico	2
AC	ACUMULACIÓN	0%-7.1%	Simple	0
			Acumulativo	2
PR	PERIODICIDAD	17.9%-25%	Irregular	1
			Periódico	3
			Continuo	5
RV	REVERSIBILIDAD	25%-25%	Fugaz	1
			A corto plazo	3
			A medio plazo	5
			Irreversible	7
CON MEDIDADE MANEJO				
TR	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	68%-100	Largo plazo	1
			Recuperable a mediano plazo	3
			Recuperable a corto plazo	5
			Inmediato	7
E		0%-32%	Nula	0

VARIABLES		RANGO DE PONDERACIÓN (%)	CALIFICACIÓN CUALITATIVA	VALOR
	EFICACIA DE LA MEDIDA DE MANEJO		Baja	1
			Media	5
			Alta	10
			Muy alta	15
TOTAL		100%	Máximo	1
			Mínimo	22

7.5 Resultados y recomendaciones

Al obtener los valores de las variables evaluadas, los impactos deben ser caracterizados de acuerdo al rango de importancia ambiental dentro de la cual se establecen 4 criterios: irrelevante, moderado, severo y crítico (ver Tabla 7.6).

Tabla 7.6. Criterios de valoración ambiental (Prada, 2010).

Calificación del impacto	Valoración
≤25	Irrelevante
>25<50	Moderado
≥50 <76	Severo
≥75	Crítico

Una vez se obtiene esta caracterización, se debe establecer qué tipo de medida necesita el impacto para ser disminuido de alguna manera o si definitivamente no hay alguna manera de disminuir su nivel de afectación. Las medidas que se adoptan dependiendo del impacto son MAVDT (2010) : medidas de prevención según las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente; medidas de mitigación: son las acciones dirigidas a minimizar los impactos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente; medidas de corrección: son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del factor afectado por el proyecto; medidas de compensación: son las acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos.

Posterior a lo mencionado anteriormente, se realiza una jerarquización de los impactos ambientales en prevenibles, corregibles, mitigables y compensables.

Con base en las medidas, se realiza una serie de recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta para el desarrollo del proyecto por los operarios del mismo y la comunidad en general del corregimiento Montebonito.

Una síntesis de la metodología de Prada, (2010), se encuentra en la Figura 7.2.

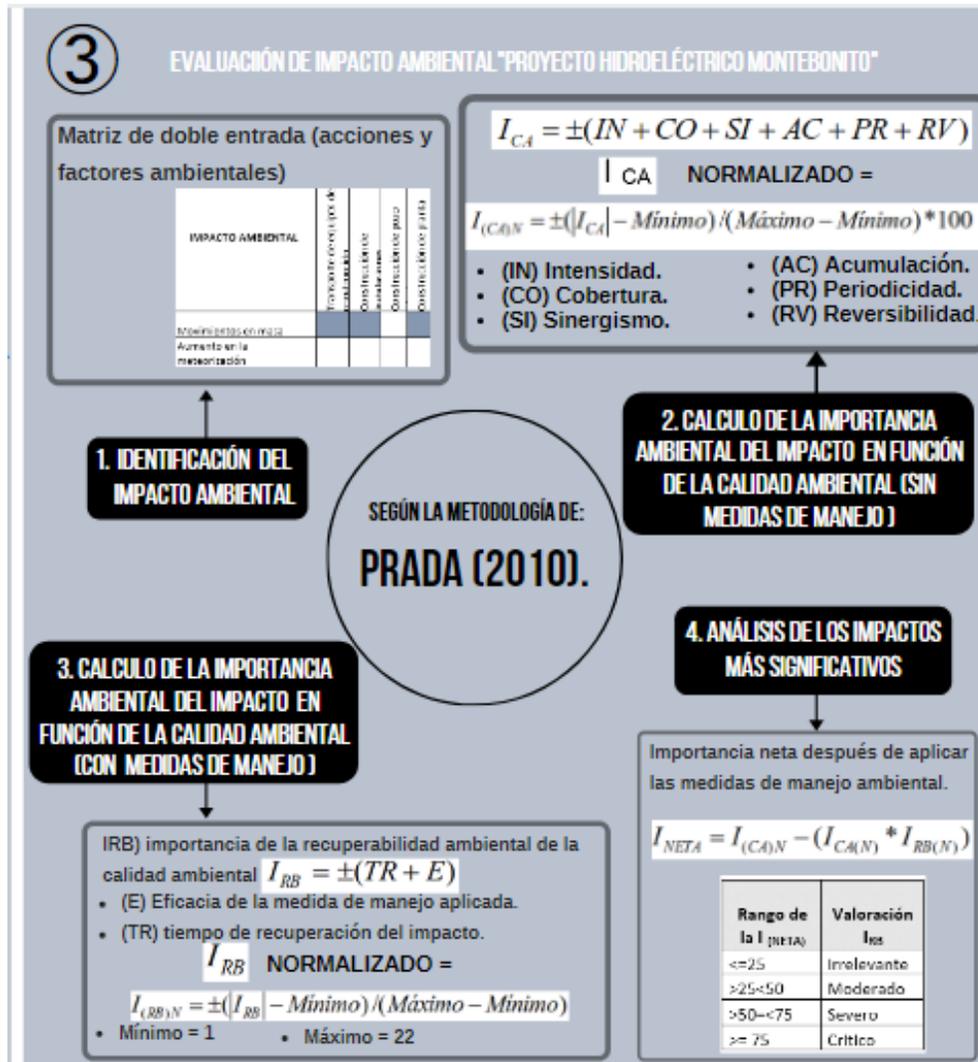


Figura 7.2. Esquema resumen de la metodología de (Prada, 2010), "Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia". Elaboración propia.

8 Localización

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del Área Hidrográfica de la macro-cuenca Magdalena Cauca, su río principal es el Guarinó que recorre 115,97 km y nace aproximadamente a una altura de 3900 msnm hasta desembocar en la Magdalena a 400 msnm (CORPOCALDAS, 2015); sin embargo, según imágenes de Google Earth, (2020), el río Guarinó desemboca a 186.2 msnm aproximadamente, esta diferencia de datos está relacionada con el tipo de insumo de medida y procesamiento utilizado en el POMCA Guarinó (CORPOCALDAS, 2015), el cual se ve afectado por el análisis. La cuenca del río Guarinó está ubicada en los departamentos de Tolima y Caldas, Colombia (ver Figura 8.1), que son delimitados por el río Guarinó y su distribución político administrativa comprende 5 municipios del departamento de Caldas y 4 municipios del departamento de Tolima (CORPOCALDAS, 2015).

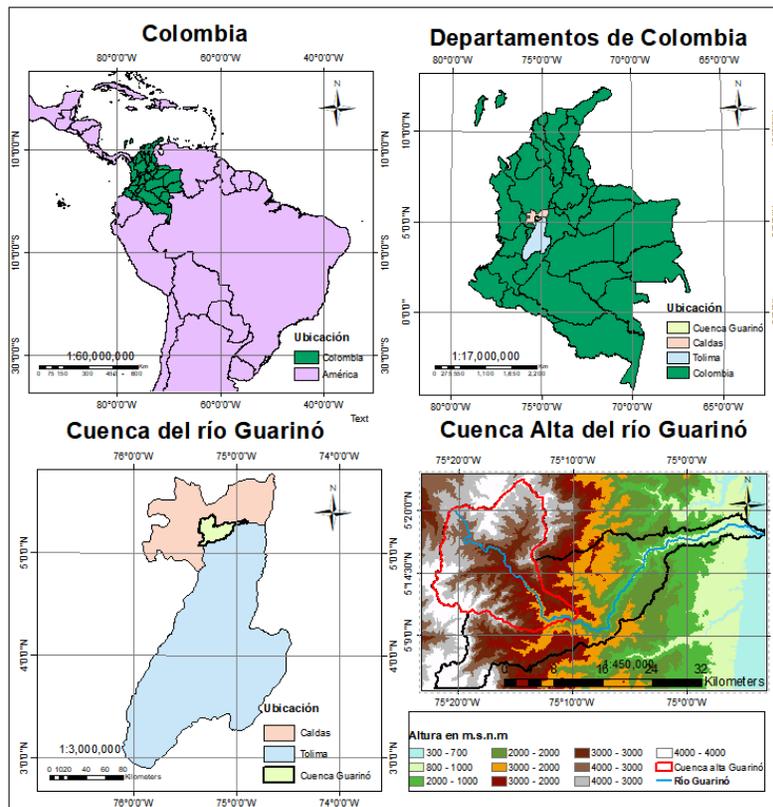


Figura 8.1. Localización de Colombia en Suramérica. Departamentos que abarcan la cuenca del río Guarinó. Cuenca del río Guarinó ubicada en los departamentos de Tolima y Caldas. Mapa de alturas de la cuenca del río Guarinó. Elaboración propia.

La cuenca del río Guarinó pertenece a uno de los territorios más poblados y con mayores transformaciones de sus ecosistemas naturales en el país como lo es la cuenca del Magdalena; allí habitan la mayoría de los colombianos, en la cual se genera la mayor actividad económica y por

consiguiente se generan los problemas de carácter ambiental más grandes y complejos (Convenio 003 de 1999 Acuerdo IDEAM, 2001). La cuenca del río Guarinó comprende alrededor de 83,745 ha en extensión (CORPOCALDAS, 2009).

Esta cuenca ha sido caracterizada anteriormente en tres sectores: alta, media y baja (CORPOCALDAS, 2015). La zona específica de estudio es la cuenca alta del Guarinó, que consta con un área de 328.035 km².

9 Planteamiento del proyecto

En este capítulo se realiza una recopilación de información sobre el planteamiento del PHM, basado en el estudio de impacto ambiental realizado para Latinco S.A (2010).

A continuación, se describen las generalidades, las vías, los campamentos, las obras principales y estimación de obras del proyecto.

9.1 Generalidades

La central Hidroeléctrica Montebonito, es un proyecto hidroeléctrico a filo de agua y que debido a su magnitud no necesita de la construcción de un embalse o transvase. El PHM considera la construcción y operación de una central de 34 MW de capacidad instalada en varias fases, con una generación media anual de 200,17 MWh, a partir de un caudal de diseño de 14,25 m³/s y un salto de 290 m. La energía está planteada para ser transmitida desde la subestación de energía de Manzaneras del grupo CHEC.

Este proyecto consta de un Azud o vertedero que toma el agua del cauce del río necesaria para generar energía mediante una rejilla lateral localizada sobre la margen izquierda del río, con una altura igual a la de los muros del vertedero de excesos. Una vez captada el agua, esta debe pasar a un desgravador donde quedan atrapadas las rocas y se devuelve parte del agua al río. Siguiendo a esto, el agua seleccionada pasa por un canal de aducción hasta llegar al tanque desarenador de dos celdas paralelas. El desarenador de concreto tiene la función de retener las partículas con tamaños mayores que 0,2 mm que puedan producir daños y desgaste en las turbinas; el agua que no se va a utilizar se devuelve al río mediante un vertedero de excesos.

Seguido del túnel de conducción a flujo libre que se extiende desde la captación hasta el tanque de carga, seguido del pozo a presión. La almenara está ubicada a la salida de la conducción a flujo libre y antes de la casa de máquinas, tendrá como función mantener la presión de la conducción que va a la casa de máquinas, pozo de presión previo a la casa de máquinas subterránea, donde se encuentran equipos de generación que convierten la fuerza del movimiento del agua en electricidad pasándola a transformadores y dirigiéndose de la superficie a la subestación de agrupamiento 2, la cual se conecta con una línea a 115 KV que transportará la energía hasta la subestación Manzaneras, perteneciente al sistema regional de la CHEC en el oriente caldense; finalmente el túnel de descarga sin revestimiento, irá

conectado a la casa de máquinas, y tendrá como función transportar nuevamente el caudal al río Guarinó.

Se ha proyectado una estación de agrupamiento para los cuatro proyectos cercanos. Se ha denominado Subestación de agrupamiento 2. Se instalarán interruptores del mismo tipo de la subestación de agrupamiento 1. En total serán seis (6) gabinetes, y un interruptor general que se conectará directamente. Para la alimentación de los servicios auxiliares no se ha definido aún en el proyecto.

9.2 Vías

Dentro del proyecto es necesario realizar la construcción de algunas vías y la rehabilitación de otras, es por ello que se ha diseñado una tabla con la ubicación y la longitud de dichas vías. (Tabla 9.1)

Tabla 9.1 Localización de vías por construir y rehabilitar en el PHM. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Frente	Descripción tramo	Condición	Longitud (Km)
Captación	Vía puente Perrillo-Montebonito-La Suecia K9+000	A rehabilitar	9
Captación	Vía captación del proyecto. K15+200	A construir	0.2
Descarga	Vías Campoalegre-Aguabonita-La Cristalina. K9+600	A rehabilitar	9.6
Portal de salida	Vía Portal Salida del proyecto. K3+746	A construir	3.75
Portal de salida	Vía a plataforma pozo de carga	A construir	0.25
Casa de máquinas	Vía casa de máquinas del proyecto. K1+706	A construir	1.71

9.3 Campamentos

Se construirán dos campamentos, uno en la zona de captación y otro en la zona de descarga, esto con el fin, de que los trabajadores puedan llegar de una manera más rápida y fácil a las obras. En la Tabla 9.2 se especifican las características de los campamentos, el taller de recarga de combustible y la línea de energía.

Tabla 9.2 Esta tabla representa las construcciones de campamentos, taller, estación de combustible y la línea de energía. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Obra	Descripción	Dormitorio	Comedor	Oficinas	Viviendas para profesionales	Almacenes
Campamento #1: Zona de captación	El cual estará ubicado en la zona alrededor de las coordenadas 1 065 249 Norte; 874 157 Este, a una elevación media de 1900 msnm, a una distancia de 60 m aproximadamente del cauce del río Guarinó	Capacidad de albergar a 56 personas, equipados con 14 habitaciones con capacidad para dos camarotes, un baño común con 4 sanitarios, 3 orinales, 9 lavamanos y 12 duchas.	El comedor tendrá la capacidad de atender a 60 personas, estará constituido por la zona de comida, la cocina y la zona de casilleros.	Las oficinas albergarán cada una de las áreas administrativas necesarias para la construcción del proyecto, estarán equipadas con dos baños, cada uno con un sanitario y un lavamanos, y una cocina con un lavaplatos.	Esta vivienda estará constituida por una zona común con una cocina y 12 habitaciones, cada una con su respectivo baño, el cual contará con 1 sanitario, 1 lavamanos y una ducha.	Para la distribución adecuada de materiales, equipo y herramientas de trabajo, se dispondrá de un espacio tipo bodega, en el cual se clasificarán y ordenarán todos los materiales requeridos para la construcción e interventoría de la obra.
Descripción						
Campamento #2: Zona de descargue	Se ubicará en la zona alrededor de las coordenadas 1 062 303 Norte; 880 567 Este, a una elevación de 1800 msnm.					
Taller mecánico y estación de abastecimiento de combustible	Será sobre la margen izquierda de la vía de acceso al sitio de descarga en el río Guarinó, en la zona alrededor de las coordenadas 1 062 175 Norte; 880 912 Este, a una elevación de 1800 msnm.					
Líneas de energía para la construcción	La línea de energía se tomará de redes existentes en la zona de 13,2 KV a 7,6 KV, de las cuales se derivarán hacia cada uno de los frentes donde se ejecutará una obra o actividad.					

9.4 Obras principales:

Las obras principales (ver Tabla 9.3) son las obras que generarán mayor impacto dentro del proyecto y las que requieren de mucha más precisión a la hora de realizar su construcción; además de ellas se derivan las obras complementarias y provisionales. A continuación, se muestran las obras principales a construir y algunas actividades incluidas dentro de esa construcción; además se presentan las características de cada obra y algunas etapas que deben llevarse a cabo para su realización. Estas obras requieren de personal con experiencia en construcción de hidroeléctricas.

Tabla 9.3 Características de las obras principales a construir dentro del proyecto hidroeléctrico. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Obras principales	Características
Obra de captación y desarenador	Etapa 1: Desviación del flujo hacia el costado del cauce. Etapa 2: Construcción del azud. Etapa 3: Finalizado el azud, se destruye el jarillón para permitir el desvío del río por el canal de aducción. Etapa 4: El desarenador se adosa a la obra de captación y al túnel de conducción a través de un canal.
Túnel de conducción, almenara y pozo de presión	El esquema planteado para el proyecto hidroeléctrico Montebonito consta de un túnel de conducción a flujo libre con un diámetro de 3300 mm y una longitud de 5100 m, además una almenara de 90 m, un pozo de presión de 285 m y un túnel de descarga de 1005 m todas con una sección igual al túnel de conducción.
	La construcción del túnel y del pozo de carga se hará por tramos entre 2,50 m – 3,0 m y se tendrán cuatro frentes; el primer frente ira de captación hacia el pozo de carga, el segundo del pozo de carga hacia captación, el tercero del pozo de carga hacia casa de máquinas y el cuarto frente de casa de máquinas hacia el pozo de carga.
Sistemas de protección de taludes	Concreto neumático, pernos y drenaje: Para este tipo de protección se prepara la superficie de los taludes y/o la roca cumpliendo con los requerimientos necesarios para la excavación en corte; una vez esté la superficie se busca adecuar un sistema de drenaje para el manejo de aguas. Según el diseño que se tenga, se instalan los pernos y se hacen las perforaciones necesarias para la inyección del concreto
	Mampostería en piedra pegada: la piedra para la mampostería es aproximadamente rectangular con un espesor de ± 10 cm, un ancho de ± 15 cm y una longitud no menor a 22,5 cm. Empradización para la protección de taludes permanentes
	Muros de contención en gaviones

Portal falso	1. La construcción del túnel falso se hará por medio de colocación de arcos y lámina trapezoidal como parte del soporte del túnel falso, malla electrosoldada y concreto lanzado en la bóveda (parte exterior). Se construirán en ambos frentes de construcción del túnel.
Enfilaje	1. Se instala la tubería en el equipo y se perfora hasta introducir el barreno en la tubería de menor diámetro, la cual funciona como sombrilla de protección.
	2. Los tubos de sombrilla se rellenan con un mortero de cemento acelerado en la boca del barreno para confinar la inyección y posteriormente se realiza la inyección de cada tubo utilizando los obturadores o válvulas de cierre y equipo de inyección adecuado.
	Se inyecta la bentonita, previamente hidratada.
Excavación con voladura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proveer los elementos necesarios para realizar la voladura como son los detonadores, el explosivo, cordón detonante, mecha lenta, tacos de madera, bolsas de arena entre otros 2. Dar instrucciones claras y precisas para iniciar cargue y repartir los detonadores 3. Realizar la limpieza de los barrenos bien sea por medio mecánico con la cucharilla o utilizando sopleteo de barrenos con aire a presión, verificando que no haya personas frente al barreno. 4. Una vez encendido se debe verificar que el conector al estopín esté unido al cordón detonante que no presente torceduras ni ángulos agudos en el amarre y en caso de haber empates garantizar que sean realizados de forma tal que la voladura sea exitosa. 5. Se prepara la mecha lenta que inicia el cordón detonante, 6. Finalmente se amarra el fulminante al cordón y se ceba la mecha de seguridad en el extremo libre.
Rezaga	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se miden los gases y se realiza la rezaga. 2. El auxiliar eléctrico realiza las conexiones de las clavijas. 3. Se humedece el material excavado y las paredes del túnel. 4. Se hace el intercambio de vehículos por cada carga.
Almenara	La excavación de la almenara será vertical y el diámetro será de 3,3 m. No se requerirá de revestimiento.
Pozo de presión	El pozo tendrá un diámetro de excavación de 3,3 m y no será necesario el revestimiento.
	Para su excavación se usará un sistema de excavación convencional tipo Alimak y si es adecuado hacer uso del Raise Borer; además la excavación se realizará desde la parte superior.

Casa de máquinas	1. Deberán implementarse voladuras controladas y la instalación de barrenos en puntos distribuidos por personal capacitado, los cuales serán rellenados con explosivo adecuado para dicha función.
	2. Se iniciará la construcción de los concretos de la sala de montaje, actividad que comprende los pórticos y losas de esta zona, además se involucra la cubierta porque en ella se hará el montaje del puente grúa.
	3. Se hará el vaciado de la superestructura donde está apoyada el puente grúa y el requerido para los anclajes del tubo de aspiración.
	4. Colocación del concreto de la cámara espiral donde se dejarán los elementos necesarios para el anclaje de este equipo
	5. Se realizará el vaciado del piso principal, construcción de las oficinas y cuartos de control de los equipos ubicados en la casa de máquinas.

9.5 Obras preliminares y complementarias:

En la Tabla 9.4 se describen las obras complementarias a las principales además de los equipos de maquinaria necesarios en las construcciones, cabe destacar que algunas actividades solo serán temporales durante la fase de construcción.

Tabla 9.4 Esta tabla representa las obras que serán derivadas de las obras principales y además algunas serán solo temporales en la fase de construcción. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Vías de acceso	El Proyecto hidroeléctrico Montebonito requiere la construcción de aproximadamente 3900 m de longitud en vías nuevas para acceder a los sitios de captación y descarga.
Descripción del proceso constructivo de las vías nuevas.	Para el sitio de captación es necesario un acceso de 222 m en nuevas vías. Esta nueva vía será la continuación de la carretera veredal, que comunicara al corregimiento de Montebonito con la cabecera municipal de Marulanda y su acceso es por la vía Nacional que conduce a Bogotá (Ruta 50); para este acceso se necesita de la construcción de un puente sobre el río Guarinó.
	Con el levantamiento topográfico y la localización del eje de la vía se pasa a hacer la ubicación de los diferentes equipos necesarios para la construcción de la vía, anteriormente se mencionó que es una vía terciaria por lo que no se necesita de una planta de asfaltos.
Localización y re planteo	Los diseños de las obras contarán con planos con la información necesaria para la construcción de la vía: planta del eje de la vía, cuadro con las coordenadas del proyecto, límites de la faja de la vía, linderos y nombres de propietarios, localización y características

	fundamentales de las obras de drenaje, muros de contención si se requiere de estos, perfil del terreno por el eje de la vía, rasante del proyecto y explanación del terreno.
Equipos de maquinaria	Retroexcavadora con su respectivo operador
	Motoniveladora: Este equipo requiere de un operador y un ayudante
	Vibrocompactador
	Vibrocompactador
Ejecución de Voladuras	Si se requiere de voladuras se harán los diseños de su respectiva malla, el consumo de material explosivo por metro cúbico de roca a mover, la cantidad y tipos de retardadores a usar según las líneas de malla y se llevará un registro de perforación y voladura.

9.6 Estimativos de las obras del proyecto

Para la operación y construcción del proyecto es necesario estimar la cantidad de material necesario a utilizar para la finalización óptima de las obras. Estos valores están descritos en la Tabla 9.5.

Tabla 9.5 Material necesario para la construcción de las obras principales. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Proyecto Montebonito	
Estructura de Captación	
Concreto Azud	3.734 m ³
Excavación en material común	600 m ³
Excavación en roca	600 m ³
Descapote	120 m ³
Acero	186.720 kg
Desarenador	
Concreto	456 m ³
Excavación en material común	78 m ³
Excavación en roca	78 m ³
Descapote	125 m ³
Acero	22.813 kg
Túnel	
Longitud de Conducción Túnel	6.500 m
Excavación en material común	6.319 m ³
Excavación en roca	632 m ³

Descapote	8.125 m ³
Afirmado	780 m ³
Casa de Máquinas	
Concretos muros	820 m ³
Mampostería	2.480 m ²
Excavación en material común	540 m ³
Excavación en roca	38 m ³
Descapote	240 m ³
Afirmado	240 m ³
Acero	57.400 kg
Vías Nuevas	
Volumen corte en material común	109.784 m ³
Afirmado	3.548 m ³
Descapote	2.729 m ³

9.7 Presupuesto

Para la descripción del proyecto es necesario realizar un presupuesto (ver la Tabla 9.6), para saber la cantidad estimada de inversión fija.

Tabla 9.6 Inversión del proyecto para su realización oportuna. Modificado de (LANTICO S.A, 2010).

Inversión fija	131.473.498.974
Terrenos	544.000.000
Obra civil	79.988.564.974
Equipos	50.940.934.000
Inversión diferida	13.610.339.178
Estudios y diseños	6.984.552.833
Gerencia	1.164.092.139
Interventoría	3.492.276.417
Seguros	1.164.092.139
Costos ambientales (1% de la obra civil más terrenos)	805.325.650
Total, presupuesto (COP)	145.083.838.151
Total, presupuesto (USD)	72.541.919

10 Línea base

10.1 Localización y descripción del área de influencia directa (AID).

El AID se localiza específicamente en la cuenca alta del río Guarinó en el municipio de Marulanda, cerca al corregimiento Montebonito, y se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas: 873839.8039E, 1065915.472N; 873875.0581E, 1063472.758N; 879720.5262E, 1063463.8205N y 879719.6149E, 1065916.6188N. Está conformada por un área de aproximadamente 13 Km² (Ver Figura 10.1). El AID está ubicada hacia la parte sur oriental de la cuenca alta del río Guarinó y se encuentra con la confluencia del río Perrillo.

El AID fue determinada según la extensión que tienen los impactos directos sobre el espacio físico que serán producidos por el PHM, ya sea de manera temporal o permanente.

El AID es un criterio fundamental dentro de la evaluación de impactos ambientales, debido a que gracias a su identificación pueden evaluarse criterios como la extensión de los impactos, su intensidad, la modificación en la calidad visual o el cambio en el uso del suelo, entre otros. A su vez, al reconocer esta área, se permite realizar una evaluación más detallada de los componentes ambientales que se verán afectados dentro de la realización del proyecto en todas sus etapas.

Es importante aclarar, la delimitación del AID debe hacerse antes de comenzar la etapa de construcción del proyecto para garantizar el estudio técnico oportuno de los componentes ambientales que la conforman, con ello lo que se pretende es establecer de qué manera serán impactados y su manera de responder a aquellos impactos.

Los componentes ambientales que serán impactados por el proyecto son descritos en los siguientes capítulos. En la Figura 10.1 se encuentra el mapa de localización del AID y se muestran los puntos observados en la salida de campo que se realizó.

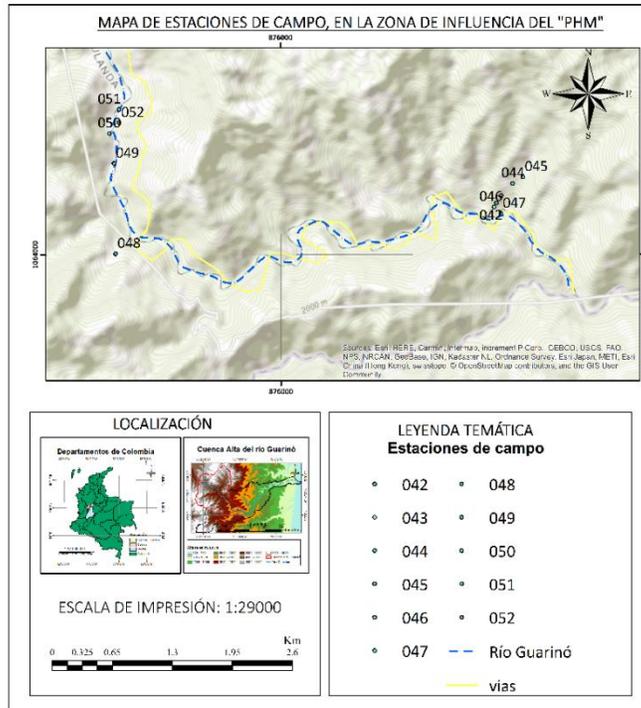


Figura 10.1 Mapa de representación de las estaciones de campo. Zona de influencia directa del PHM. Los puntos del 048 al 052 indican el inicio de la zona de captación y los puntos del 042 al 047 el inicio de la descarga. Elaboración propia

10.2 Geología

La cuenca alta del río Guarinó está ubicada en la Cordillera Central en el departamento de Caldas en la parte centro oriental del mismo. Esta cuenca abarca los municipios de Marulanda, Manzanares y Pensilvania.

El mapa geológico está construido por unidades regionales en una escala 1:25000, y allí está ubicada la AID. Las unidades geológicas regionales se encuentran ilustradas en la Figura 10.2. Este mapa contiene además las fallas estructurales, los datos estructurales y el río Guarinó. La escala de este mapa es 1:25000.

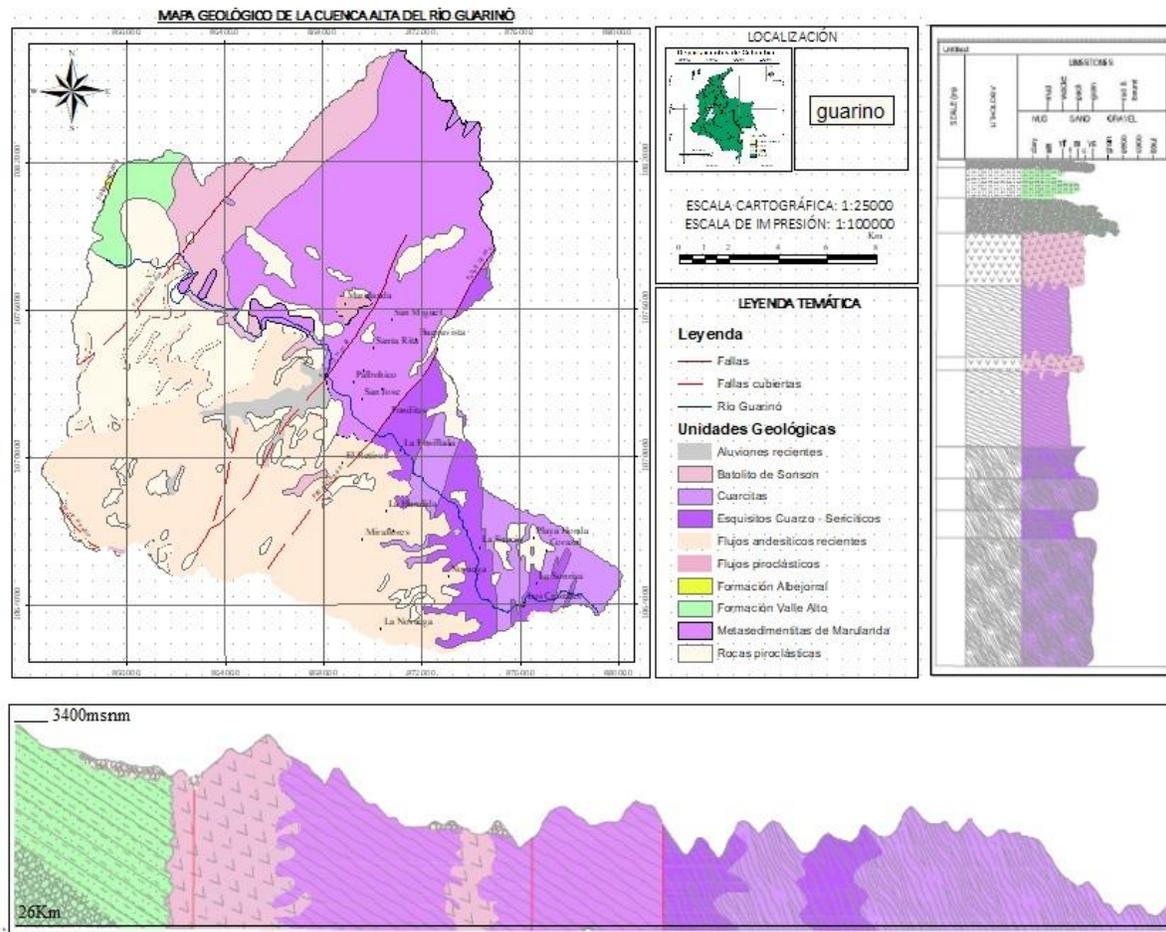


Figura 10.2. Mapa geológico regional de la cuenca alta del río Guarinó. El perfil comienza en la cota 3400msnm y termina en la cota 2000 msnm, en una extensión de 26 Km. Elaboración propia.

10.2.1 Geología regional

La geología que caracteriza la zona es amplia y diversa la cual presenta rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como también algunos depósitos recientes.

Las rocas más antiguas pertenecen al Complejo Cajamarca y son principalmente metamórficas. Este complejo está conformado por esquistos cuarzo sericíticos y actinolíticos, filitas, cuarcitas y mármoles; está cubierto por vulcanitas del Plio-Pleistoceno; la aparición más meridional se encuentra al oriente del Macizo colombiano, en el sector de Quinchana - San Agustín (Cauca-Huila), donde afloran esquistos

cuarzo-sericíticos y filitas (Maya y González, 1995). Ver Tabla 10.1 para la descripción de la geología regional de la cuenca alta del río Guarinó.

Tabla 10.1 Geología regional de la zona de la cuenca alta del río Guarinó. Descripciones, edades y contactos geológicos son descritos en esta tabla. (Tomado y modificado del CORPOCALDAS, 2015)

Unidad geológica	Descripción	Edad	Contactos geológicos
Esquistos cuarzo sericíticos	Presencia de grafito en cantidades variables le imparten un color gris a negro característico, por lo cual se denominan en el campo, esquistos negros; por gradación mineralógica pasan a cuarcitas o esquistos grafiticos y por variación textural, a filitas. Ubicada en la parte oriental de la cuenca alta del río en las veredas La Suecia, Fonditas, entre otras.	Pérmico (Cochrane,2013)	Contacto interdigitado entre cuarcitas y esquistos sericíticos
Cuarcitas	La roca predominante dentro de esta unidad está compuesta por cuarzo sacaroidal en mosaicos, de textura granoblástica poligonal, localmente separados por bandas delgadas de biotita. Ubicada en la parte oriental de la cuenca alta del río, en las quebradas Cajones y Corcobados, en las veredas de La Sonrisa, Corazal y Los Cristales.	Pérmico (Cochrane,2013)	Contacto interdigitado entre cuarcitas y esquistos sericíticos y concordante con Matesedimentitas
Metasedimentitas de Marulanda	Corresponden a la prolongación hacia el sur de la unidad denominada rocas metamórficas de bajo grado, las cuales corresponden a argilitas, filitas, metagrauvacas, metaareniscas, cuarcitas de grano fino con textura metaclástica. Esta unidad está ubicada al noroeste de la cuenca alta del río Guarinó en las veredas San José, Santa Rita y el municipio de Marulanda.	Carbonífero Superior-Triásico (Feininger et al., 1972)	Reposa concordantemente sobre esquistos cuarzo-sericíticos y cuarcitas y se encuentra intruida al oeste por el Batolito de Sonsón.

Unidad geológica	Descripción	Edad	Contactos geológicos
Batolito de Sonsón	La cuarzodiorita del Batolito de Sonsón es de grano medio uniforme y difiere poco de la del Batolito Antioqueño. Se encuentra ubicado al noroeste de la cuenca alta del río en el municipio de Marulanda, la vereda El Hoyo y Las Manos.	Jurásico Medio (González, 2001)	Contacto intrusivo con las metasedimentitas de Marulanda y discordante con la Formación Valle Alto
Formación Valle alto	Constituida por conglomerados con soporte lodo-arenoso con escaso desarrollo de estratificación y donde las gravas son de cuarcitas y líticos de otras metamorfitas subordinadas embebidas en una matriz lodo-arenosa. Encima del paquete anterior se encuentra una secuencia de lutitas de color gris verdoso con capas intercaladas de arenisca blanca de grano medio a fino y encima, separado por una discordancia erosiva aparece un banco de conglomerado. Ubicada en las veredas El Páramo, Monteverde, La Cuaresma y El Vergel hacia el noroeste de la cuenca alta del río Guarinó.	Cretácico Inferior (Etayo, 1985)	En contacto discordante sobre plutonitas del Batolito de Sonsón e infrayace a sedimentitas de la Formación Abejorral.

Unidad geológica	Descripción	Edad	Contactos geológicos
Formación Abejorral	La parte basal de esta formación está compuesta por un conglomerado oligomítico cuarzoso, que descansa discordantemente sobre esquistos sericíticos. Encima del conglomerado se encuentra una serie de arenisca de grano medio a fino, mal seleccionadas y de color gris claro a crema, indicando depositación contigua a la zona de playa, por debajo del nivel del oleaje. Se encuentra ubicada en la zona noroeste de la cuenca alta del río Guarinó, en las veredas El Páramo, Monteverde y La Cuaresma.	Desde el Berriasiano (en parte), hasta el Albiano medio. (Etayo, 1985)	El contacto con la Formación Valle Alto es fallado y está enmarcado por la Falla Samaná Sur mientras que el contacto con el Batolito de Sonsón, al norte del área considerada, es en parte tectónico y en parte discordante.
Flujos de lava andesíticos	La composición de estos flujos es relativamente homogénea, pero por su relación con los depósitos glaciares se han determinado dos periodos de emisión. Ubicados en la parte centro sur de la cuenca alta del río Guarinó, en las veredas de Miraflores, El Retiro y San José.	Mioceno Tardío-Plioceno/ Holoceno. (Thouret et al., 1985)	Contacto discordante sobre el basamento de las rocas ígneas y metamórficas.
Flujos piroclásticos	Estos materiales, en parte, se depositan en medio acuoso que sirve de medio de transporte tanto hacia el este como al occidente del eje de la cadena volcánica, depositándolos a lo largo del cauce y zonas de inundación y constituyen geoformas características y de fácil identificación en el área. Están ubicados en la parte central de la cuenca alta del río Guarinó, en el municipio de Marulanda y la vereda San José.	Varía entre el Pleistoceno y Holoceno. (Thouret et al., 1985)	Descansan discordantemente sobre el basamento metamórfico.

Unidad geológica	Descripción	Edad	Contactos geológicos
Depósitos piroclásticos	En los cortes de las carreteras a Letras, Herveo y Murillo se observan espesores de más de 30 m de cenizas y lapilli pumítico con varios niveles de suelos fósiles intercalados, que se acomodan a la topografía preexistente. El grado de litificación, por lo general, es bajo. Ubicados en la zona centro y sur oeste en las veredas Mojollones, Palmira, Monteconito y Los Alpes.	Pleistoceno Tardío-Holoceno. (González, 2001)	Descansan discordantemente sobre el basamento metamórfico.
Aluviones recientes	Estos depósitos están compuestos por bloques y gravas de diferente tamaño y composición, en una matriz arcillo – arenosa con diversos grados de cementación o compactación. Los depósitos elevados con respecto al nivel actual de las corrientes, están mejor cementados y pueden clasificarse como terrazas.	Holoceno. (González, 2001)	Descansan discordantemente sobre Flujos de lava andesíticos

10.2.2 Geología local, en el área de influencia directa:

El AID se encuentra conformada principalmente por cuarcitas, esquistos cuarzo-sericíticos y algunos depósitos volcánicos.

La litología de mayor extensión y afectación por parte de la construcción de las instalaciones del PHM, son las cuarcitas. La unidad de Cuarcitas se encuentra en la zona central y en la zona oriental del AID y están ubicadas a ambos lados del río Guarinó; además, se observan afloramientos en la margen izquierda del río aguas abajo. Esta unidad, también se encuentra en las quebradas Cajones y Corcobados. Las unidades de Cuarcitas y Depósitos piroclásticos están ubicadas en cercanías de la vereda Corazal y Playa Honda

La unidad de Esquistos Cuarzo-sericíticos se encuentra ubicada principalmente en la zona occidental del AID y los depósitos volcánicos en la zona más central. Estas unidades se encuentran a ambos márgenes del río Guarinó y los Esquistos están ubicados en cercanías de la vereda La Suecia, La Sonrisa y Noruega.

La unidad de Cuarcitas ocupa el 53.1% del AID, la unidad de Esquistos Cuarzo-sericíticos ocupa el 41%, los depósitos piroclásticos el 5% y los flujos andesíticos recientes el 1,28%, de los 14.4Km² que se verán afectados por la construcción del PHM.

10.2.2.1 Estratigrafía del AID

La roca predominante dentro de esta área son las cuarcitas, ubicadas en las veredas Playa Honda, Corazal y La Suecia, las cuarcitas compuestas por cuarzo sacaroidal en mosaicos, de textura granoblástica poligonal, localmente separados por bandas delgadas de biotita. Esta unidad se encuentra en contacto interdigitado con la unidad de esquistos sericíticos ubicados principalmente en la vereda La Suecia hacia la vereda Cuchilla Letras, los cuales tienen presencia de grafito en cantidades variables le imparten un color gris a negro característico, por lo cual se denominan en el campo, esquistos negros; por gradación mineralógica pasan a cuarcitas o esquistos grafiticos y por variación textural, a filitas. Ambas unidades litológicas son de edad Paleozoico Superior.

Además, hacia el techo se encuentran depósitos piroclásticos, de los cuales las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico y, ocasionalmente, bombas volcánicas; estos depósitos se encuentran en contacto discordante con el basamento hacia la zona central del AID en las veredas Corazal y Playa Honda y hacia el sur del AID, en la vereda Los Cristales, se encuentran en contacto discordante hacia el techo flujos andesíticos recientes, los cuales son lavas masivas en coladas, de pocos metros de espesor, pero con un espesor acumulado apreciable, de color gris claro a oscuro, ligeramente porfiríticas. La composición predominante es andesítica, con textura porfirítica constituida por matriz vítrea en proceso de desvitrificación a palagonita tomando un tono pardusco y fenocristales de plagioclasa intermedia intensamente zonada, de ortopiroxeno subidiomórfico en cristales cortos, de clinopiroxeno xenomórfico a subidiomórfico y, ocasionalmente, de hornblenda parda; como accesorios se encuentran apatito y minerales opacos (González, 2001).

A pesar de que el trazo de la falla el Edén no sigue su trayecto directamente por el AID, le imprime características al terreno de deformación y diaclasamiento en el basamento metamórfico y es la falla de mayor afectación hacia las rocas y el suelo dentro del AID.

Se corroboró la información de la cartografía geológica para la zona directa de influencia del PHM en general se encontró esquistos cuarzo sericíticos con grafito y algunos con andalucita, y cuarcitas.

En general se observó un control estructural en la zona por su alto fracturamiento, donde las diaclasas se interceptan generando cuñas. Ver Figura 10.3, como ejemplo es la estación 052, en la zona donde se realizará el túnel a flujo de conducción. Para mayor detalle sobre la información de campo ver anexo 16.2.



Figura 10.3. Cuarcita, donde se pueden observar el patrón de diaclasamiento, estación 052. Foto tomada por Manuela Grajales.

10.2.3 Evolución geológica

Complejo Cajamarca es el nombre utilizado por González (1980) para el conjunto de rocas metamórficas que constituyen el núcleo de la Cordillera Central. Las características mineralógicas y facilidad de identificación permitieron separar, tres grupos composicionales: La paragénesis metamórfica indican un bajo grado de metamorfismo predominante en facies esquistos verde, aunque localmente se encuentran en rocas facies anfíbolita. Los esquistos verdes son menos abundantes y se encuentran intercalados con los esquistos sericíticos. La secuencia metasedimentaria de Marulanda muestra un menor grado de metamorfismo que las otras unidades metamórficas y aparentemente corresponde a la parte superior de la secuencia metamórfica, donde el cambio en la intensidad del metamorfismo es debido a la posición estructural más alta dentro de la pila sedimentaria original durante el metamorfismo (González, 2001)

En Núñez (2001), el complejo está conformado por una gran variedad de rocas, producto de metamorfismo regional de medio a bajo grado, facies esquistos verde hasta anfíbolita. La litología más frecuente es de esquistos de clorita-albita-epidota, clorita-albita-actinolita, cuarzo-sericita-grafito, cuarcitas y cuarcitas biotíticas. Los colores dominantes son verdes y grises a negros. Subordinadamente se encuentran mármoles, esquistos micáceos, esquistos anfibólicos y ocasionalmente anfíbolitas. Las relaciones estratigráficas, entre las diferentes litologías, son complejas.

El Complejo está compuesto por varias unidades, con características mineralógicas y texturales, que las permiten separar y se describen a continuación:

- Grupo Pelítico: Constituido por filitas, esquistos sericíticos y micáceos (Pes) y metasedimentitas (Pmm).

- Grupo Cuarzoso: Cuarzitas (Pq).
- Grupo Básico: Esquistos verdes y anfibolitas (Pev).

El registro del Mesozoico en la Cordillera Central, a nivel del área de estas planchas, se inicia en el Jurásico con intrusivos Jurásicos como el Batolito de Sonsón (JcDs), continuando con la actividad ígnea hasta finales del Cretácico y comienzos del Cenozoico con la intrusión del Stock de Manizales, pero no aparece en el registro del ciclo magmático del Cretácico que genera los grandes Batolitos de esta cordillera al norte del área de estudio (González, 1993). El registro de sedimentación marina se inicia con la Formación Valle Alto (Jva) y continua con la Formación Abejorral (Kia); al occidente de esta se presenta un periodo de vulcanismo y sedimentación que genera el complejo de Quebrada Grande (Kvc, Ksc), al cual se asocia espacialmente una faja de rocas metamórficas de media presión.

La sedimentación marina de finales del cretácico temprano está representada por la Formación Abejorral, que indica un levantamiento Pre-Cretácico de corteza siálica en la margen occidental de la actual Cordillera Central, constituida en ese momento por metamorfitas con pequeñas cuñas de rocas sedimentarias. Al occidente del área, se encuentran unidades litológicas que representan un ambiente oceánico, separadas de las unidades orientales de carácter continental por el sistema de Fallas de Romeral, posiblemente una sutura (Toussaint, 1993). Este conjunto está constituido por rocas ígneas básicas y ultrabásicas asociadas a sedimentos marinos, con rocas metamórficas de media-alta presión a lo largo de la zona de sutura. Estas unidades tienen edad Cretácica-Paleoceno y se intruye al Stock de Manizales.

Se encuentra sobre el eje de la Cordillera Central, en el área de las Planchas 206 y 225, plutones posttectónicos de composición granodiorítica a tonalítica, emplazados en el Eoceno temprano y que corresponden a la prolongación de la actividad magmática iniciada a finales del Cretácico durante la orogenia Proto – Andina (Irving, 1971; Page, 1986). Sobre el borde occidental, y relacionados con el Sistema de Fallas de Romeral, afloran intrusivos subvolcánicos de composición Andesítica – dacítica y edad del Mioceno.

Sedimentos continentales del Terciario rellenan cuencas de tracción relacionadas con el Sistema de Fallas de Romeral, mientras en gran parte de las unidades litológicas antiguas se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios de origen volcánico, volcanoclástico, glacio-fluvial y fluvial, en gran parte, relacionados con la actividad volcánica de los volcanes del Complejo Ruiz – Tolima (González, 2001).

10.2.4 Fallas geológicas

10.2.4.1 Falla Samaná

Se localiza en el extremo noroccidental de la Cuenca, siendo el límite en su parte alta. La Falla Samaná recibe su nombre del río homónimo en la Plancha 187 ; su dirección aproximada, corresponde a un rumbo N 30° E; en el pequeño sector que pasa por la Cuenca, coloca en contacto rocas de la

Formaciones Valle Alto (Kva) y Abejorral (Kia)(González, 1980). Se encuentra ubicada en la zona noroeste de la cuenca alta del río Guarinó, en las veredas El Páramo, Monteverde y La Cuaresma.

10.2.4.2 Falla río Dulce

La Falla río Dulce se encuentra en el sector noroccidental de la Cuenca, al occidente del municipio de Marulanda. Afecta rocas del Batolito de Sonsón (JcDs) y está cubierta en algunos sectores por rocas piroclásticas (Qto) y flujos andesíticos recientes (Qa); recibe su nombre del río Dulce en la Plancha 187 Salamina (González, 1980), donde se considera como una falla de rumbo. La dirección en la Cuenca es generalmente N35°E paralela a la Falla Samaná y separada de ésta unos 5 km. González (1980), considera un desplazamiento lateral derecho de aproximadamente 2 km. Se encuentra ubicado al noroeste de la cuenca alta del río en el municipio de Marulanda, la vereda El Hoyo y Las Manos.

10.2.4.3 Falla río Hondo

La Falla río Hondo se encuentra en el sector noroccidental de la Cuenca, al oriente del municipio de Marulanda. Está marcada por un fuerte alineamiento topográfico que controla el curso del río Hondo en la Plancha 206 de donde toma su nombre; presenta un rumbo promedio N35°E, afecta una unidad del Complejo de Cajamarca, los metasedimentos de Marulanda (Pmm) y en algunos sectores se encuentra cubierta por flujos andesíticos recientes (Qa) y aluviones recientes (Qar). Debido a la espesa cubierta volcánica y las condiciones topográficas, no se ha podido determinar el tipo de falla, pero por su expresión topográfica se considera como una falla de rumbo, al tener en cuenta las características de este tipo de fallas en la Cordillera Central (Feininger et al., 1972). El trazo de esta falla se encuentra en el municipio de Marulanda y en las veredas San Miguel y Santa Rita.

10.2.4.4 Falla El Edén

La Falla El Edén se encuentra en el sector noroccidental de la Cuenca, al oriente del municipio de Marulanda. La falla que pone en contacto los metasedimentos de Marulanda (Pmm) con las cuarcitas micáceas (Pq) y los esquistos cuarzo-sericíticos (Pes). Esta falla tiene rumbo aproximado N35°E. Se considera como falla de rumbo por su expresión morfológica y contraste en el grado de metamorfismo a ambos lados de su traza principal, pero no ha sido posible determinar su desplazamiento. Está cubierta flujos andesíticos recientes (Qa) y por rocas piroclásticas (Qto).

Esta falla es la que más afecta el AID, debido a su cercanía con la misma y su trazo pasa por las veredas El Retiro, La Ensilada y Fonditas, las cuales están en el área que ocupan las unidades de Esquistos y Cuarcitas.

10.2.4.5 Falla río Perrillo

Tiene una longitud cartografiada de 10 km. Esta falla afecta dos tipos de rocas: la cuarzodiorita del Batolito de Sonsón, que a lo largo de la traza de la falla forma una franja angosta de cataclasitas - protomilonitas, y a esquistos cuarzo-sericíticos afectados por metamorfismo de contacto. Si se

correlacionan los cuerpos de esquistos de ambos lados de la falla, esta tendría un desplazamiento lateral derecho de cuatro Km. (González, 1980)

Se encuentra localizada en el sector suroccidental de la Cuenca, con una dirección N55°W y atraviesa las unidades como el Batolito de Sonsón (JcDs), las cuarcitas micáceas (Pq) y los esquistos cuarzo-sericíticos (Pes). De acuerdo con Borrero (2009). La Falla río Perrillo está deformando y basculando depósitos cuaternarios recientes y el valor de la falla hace que sea considerada como posiblemente inactiva. Según el autor, se considera contradictorio, puesto que el desarrollo de un escarpe sobre depósitos cuaternarios recientes y el basculamiento de estos debería arrojar un valor de falla activa.

Esta falla está ubicada en la zona sur de la cuenca alta del río Guarinó en la vereda San Julián, en cercanías a la vereda La Cristalina, Vallequemado y El Paraíso.

10.3 Geomorfología

Para la zona del PHM se generó un mapa geomorfológico (Figura 10.4), Cada elemento cartográfico está representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional (Verstappen & Van Zuidam, 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002).

En la cuenca alta del Guarino se han diferenciado 3 ambientes geomorfológicos predominantes: denudativo, estructural y volcánico.

El porcentaje de área ocupado en la cuenca alta del Guarinó por ambiente es: el volcánico con un 47%, seguido por el ambiente estructural con un 35% y por último el ambiente denudativo con un 18%.

La distribución general de unidades geomorfológicas en el AID es aproximadamente del 33.7% Deem; Escarpe de erosión mayor, el 22.3% de Sles; Ladera escalonada, el 14.4% Sshlc; Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, el 13% Sshle; Ladera estructural de sierra homoclinal, el 8.5% Sshlc; Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal y las demás unidades geomorfológicas cubren el 8.1% restante de área.

Las distribuciones en el área de las unidades geomorfológicas muestran que el ambiente geomorfológico predominante en la zona es el estructural seguido del denudativo y por último el volcánico.

La descripción de las unidades geomorfológicas de la cuenca se encuentra en la Tabla 10.2.

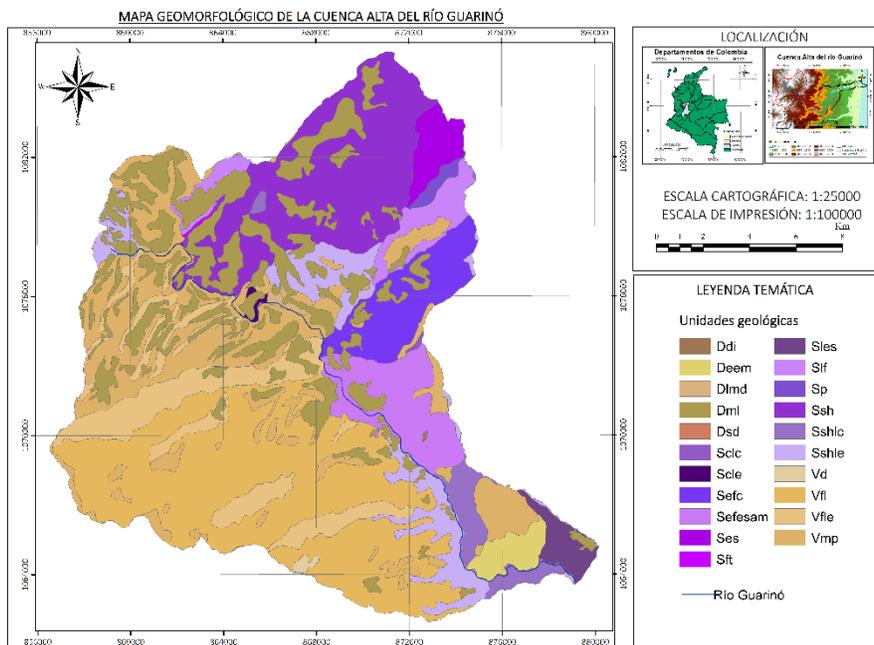


Figura 10.4 Mapa de unidades y ambientes geomorfológicos de la cuenca alta Guarinó. (Elaboración propia, basado en CORPOCALDAS, 2015)

Tabla 10.2. Descripción unidades geomorfológicas. Basado en (CORPOCALDAS, 2015).

Ambiente	Código	Nombre	Característica geomorfológica
Denudativo	Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	Estructura en forma de lóbulos, con índice de contraste del relieve muy bajo
	Deem	Escarpe de erosión mayor	Índice de contraste de relieve moderado y inclinaciones de ladera escarpadas, con longitudes cortas a moderadas, laderas de forma cóncava debido a la acción erosiva de los drenajes que las generan.
	Dlmd	Lomeríos muy disectados	Sistema o conjuntos de lomos o fillos, son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. Con índice de relieve relativo entre 250 m y 1000 m
	Dml	Movimientos Lentos	Morfología alomada y aterrazada, con longitudes cortas a muy largas, cóncava a convexa y pendientes inclinadas a abruptas. El patrón de drenaje típico es subdentrítico a subparalelo.

Ambiente	Código	Nombre	Característica geomorfológica
	Dsd	Sierra denudada	Morfología montañosa y elongada, con índice de contraste de relieve muy alto, con índice de inclinaciones de laderas muy abruptas, de longitudes muy largas y forma cóncava, presenta interfluvios de tipo agudo.
Estructural	Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta	Superficie subvertical con pendientes que oscilan de muy abruptas a escarpados, con longitudes promedio de 400 metros, además de su forma irregular, donde las capas de roca se disponen en sentido opuesto a la inclinación del terreno.
	Scle	Ladera estructural de cuesta	Superficie con pendientes muy inclinadas (11 a 15 grados), de longitudes largas y cuya forma es irregular, las capas de roca se disponen en el mismo sentido de la inclinación del terreno y poseen buzamientos bajos
	Sefc	Espolón faceteado	Salientes perpendiculares a estructuras mayores de formas simétricas o ligeramente asimétricas, que en conjunto conforman sierras colinadas, con índice de contraste del relieve moderado, con índice de inclinación de laderas muy escarpado, de longitudes moderadas y con interfluvios agudos.
	Sefesam	Espolón festoneado alto de longitud media	Constituir salientes perpendiculares simétricas o ligeramente asimétricas a estructuras mayores o al rumbo de las estructuras geológicas, que en conjunto conforman sierras colinadas, esta geoforma presenta un índice de contraste del relieve alto, con índice de inclinación de laderas abruptas a muy abruptas, de longitudes moderadas a largas y con interfluvios agudos, el eje principal de estos espolones supera longitudes de hasta 1000 m.
	Ses	Espolón	Salientes de morfología alomada, las cuales poseen interfluvios agudos, presentan laderas con índices de inclinación muy abruptos, de longitudes moderadas y de formas cóncavas.
	Sft	Faceta triangular	La unidad se reconoce por su geometría en planta triangular, ancha en la base y angosta en el tope.
	Sles	Ladera escalonada	Una superficie inclinada la cual posee índices de inclinación abruptos, donde las longitudes alcanzan varios kilómetros, una de las características de esta unidad es su forma de escalón.
	Slf	Lomos de falla	Alomada, la cual presenta un índice de contraste del relieve moderado, con interfluvios subredondeados, pendientes abruptas, de longitudes moderadas y de forma convexa.
	Sp	Plancha	Ser una superficie inclinada, la cual presenta un índice de inclinación de ladera abrupto a muy abrupto, con forma cóncava.

Ambiente	Código	Nombre	Característica geomorfológica
	Ssh	Sierra homoclinal	Prominencias topográficas ligeramente simétricas, con morfología montañosa, las cuales presentan un índice de contraste del relieve muy alto, con interfluvios subredondeados a subangulares, las laderas de la unidad son de longitudes largas con índices de inclinación muy abrupta.
	Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	ladera subvertical con índices de inclinación muy escarpados, cuyas longitudes pueden variar de cortas a moderadas, estas laderas tienen forma recta. La inclinación de la roca que va en sentido contrario de la inclinación de terreno.
	Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	Laderas subvertical con índices de inclinación muy escarpados, cuyas longitudes pueden variar de cortas a moderadas, estas laderas tienen forma recta.
Volcánico	Vd	Domo volcánico	Estructura en forma de cúpula subredondeada, corresponden con remanentes de estructuras volcánicas que en la actualidad están inactivas.
	Vfl	Flujo de lava	Se presenta en superficie irregular y lobulada, limitada por escarpes con características variadas, con índice de relieve relativo bajo a muy bajo, las laderas y el grado de pendiente es variable.
	Vfle	Escarpe de flujo de lava	Es una superficie subvertical, con terrenos escarpados, de longitudes cortas a largas, de forma recta, estos escarpes se evidencian en el límite de los flujos de lava.
	Vmp	Manto de Piroclastos	Morfología suavemente ondulada, se encuentran aterrazadas ocasionalmente, con laderas de longitudes muy largas y con índices de pendiente inclinadas a muy inclinadas, son unidades extensas.

10.3.1 Morfometría de la cuenca alta del Guarinó

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella.

Los parámetros morfométricos fueron calculados con el programa QGIS Desktop 3.8. Para la cuenca alta del Guarinó se calcularon los parámetros asociados a la cuenca según su forma, relieve y drenaje principal descritos a continuación (Tabla 10.3).

10.3.1.1 Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca.

El área de la cuenca por su valor de 328.0535 (Km²) se clasifica como una cuenca intermedia a pequeña. Los valores de caudales promedios, mínimos y máxima instantáneos crecen a medida que crece el área

de la Cuenca, otra relación directa es a mayor área de la cuenca mayor la longitud de la misma. La longitud de cuenca tiene un valor de 26.659 km.

El índice de forma presenta un valor de 0.4616 que pertenece al rango de 0.37 – 0.54 que significa que tiene una forma moderadamente achatada.

El coeficiente de compacidad con un valor de 1.4665 para una clasificación en Clase Kc3 con rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

La relación de elongación con un valor de 0.7664 que es un valor menor a 1.4 indicando que la cuenca es poco alargada.

Concluyendo que la cuenca alta del Guarínó tiene una forma moderadamente achatada, ovala oblonga y poco alargada lo que le da características para una baja posibilidad a la inundación.

Tabla 10.3. Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca. Elaboración propia.

Parámetros asociados a la forma de la cuenca	
Área (Km²)	328.0535
Perímetro (km)	94.1918
Longitud de cuenca (km)	26.659
Índice de forma	0.4616
Coficiente de compacidad	1.4665
relación de elongación	0.7664

10.3.1.2 Parámetros morfométricos de relieve de la cuenca.

En la Figura 10.4 se exponen los parámetros de relieve. Por su valor de 58.8211 % La pendiente media es clasificada como muy fuerte. Las cuencas de mayor pendiente tienden a responder con mayor celeridad ante las precipitaciones al aumentar los caudales (Horton, 1945) (Strahler, 1964). Por ende, favoreciendo la esorrentía.

Tabla 10.4. Parámetros morfométricos de relieve de la cuenca. Elaboración propia.

Parámetros de relieve	
Pendiente media (%)	58.8211
Elevación mínima (m.s.n.m)	1534
Elevación máxima (m.s.n.m)	3927
Elevación media (m.s.n.m)	2952

Para realizar la curva hipsométrica de la cuenca alta del Guarínó, se adquirió los datos necesarios (Tabla 10.5), con el programa QGIS Deskshop 3.8 y se graficó en Excel.

Tabla 10.5. Datos para la generación de la curva hipsométrica de la cuenca alta del Guarínó. Elaboración propia.

Clase	Elevación MIN	Elevación MAX	Promedio de elevación	Área	% área
1	1534	1693	1614	816875.0	100.0
2	1694	1853	1774	2949531.3	99.8
3	1854	2012	1933	5679531.3	98.9
4	2013	2172	2093	9430937.5	97.1
5	2173	2331	2252	13483281.3	94.2
6	2332	2491	2412	20253437.5	90.1
7	2492	2650	2571	25724062.5	84.0
8	2651	2810	2731	29362343.8	76.1
9	2811	2969	2890	38644531.3	67.2
10	2970	3129	3050	54831718.8	55.4
11	3130	3288	3209	53739218.8	38.7
12	3289	3448	3369	36941875.0	22.3
13	3449	3607	3528	23308906.3	11.0
14	3608	3767	3688	11666250.0	3.9
15	3768	3927	3848	1228125.0	0.4
Área total				328060625.0	

Se obtuvo una curva de tipo convexa hacia el cielo (Figura 10.5), corresponde a una cuenca con gran potencial erosivo y geológicamente joven, cuenca de meseta, (fase de juventud). Además, la cuenca con una elevación mediana de 3100 m.s.n.m.

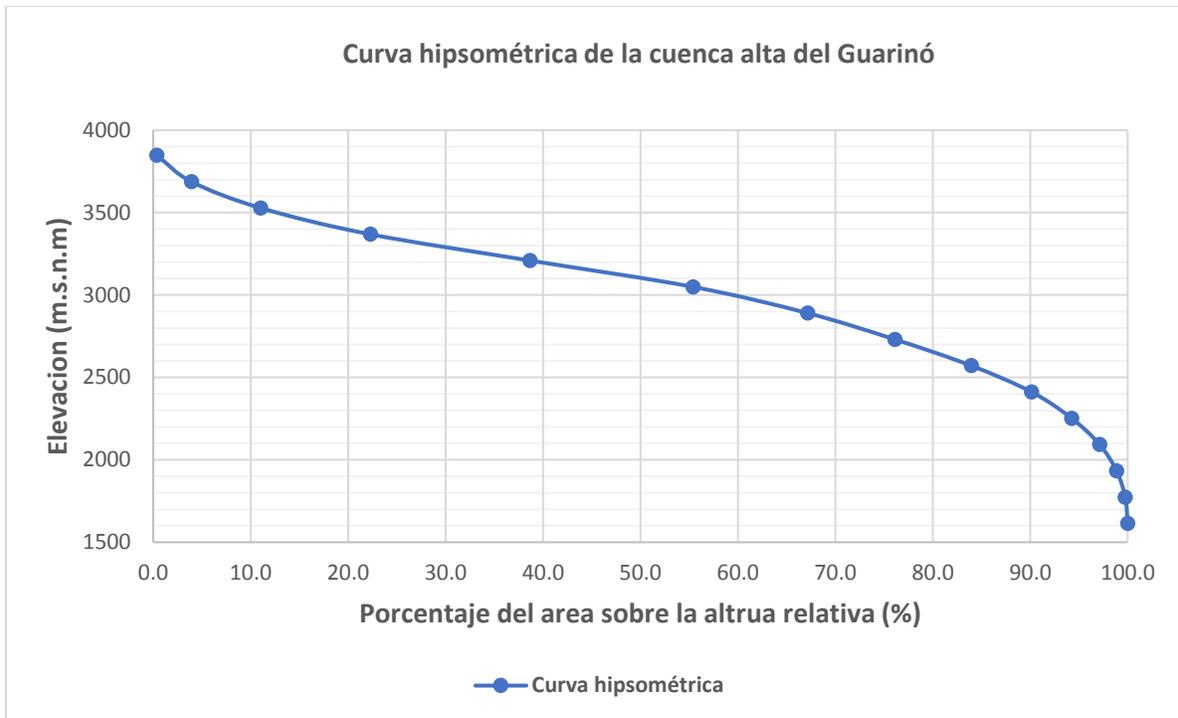


Figura 10.5. Curva hipsométrica de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.

10.3.1.3 Parámetros morfométricos relativos al drenaje de la cuenca.

Los parámetros relativos al drenaje se resumen en la Figura 10.6. La ramificación del sistema hidrográfico de la cuenca alta del Guarino es de orden 7.

La densidad de drenaje 3.4106, clasificada como moderada. Lo cual indica que la cuenca tiene la capacidad de drenar la escorrentía adecuadamente. Disminuyendo las posibilidades de inundación.

Longitud del cauce de 45.922 km, clasificado como un cauce largo. los tiempos promedios de subida y las duraciones promedias totales de las crecientes torrenciales tienen relación con la longitud del cauce. Al ser un cauce largo podrá presentar largos tiempos de desplazamiento de las crecidas y como consecuencia de esto, mayor atenuación de los mismos, por lo que los tiempos de subida y las duraciones totales de estas serán evidentemente mayores.

Tabla 10.6. Parámetros morfométricos relativos al drenaje de la cuenca. Elaboración propia.

Parámetros relativos al drenaje	
Orden de drenaje	7
Densidad de drenaje	3.4106
Longitud del cauce (km)	45.922

Fuentes hídricas

Los órdenes de drenajes son valores numéricos que jerarquizan la ramificación de la red de drenajes en una cuenca, siendo 1, un drenaje sin tributarios, la confluencia de dos cursos de primer orden creará un curso de segundo orden, la confluencia de dos cursos de segundo orden creará un curso de tercer orden, y así sucesivamente. A mayor orden, mayor caudal tendrá el drenaje.

La distribución hidrográfica para la cuenca alta del río Guarinó se muestra en la en la Figura 10.6. El río Guarinó, está desarrollado por una red de drenaje de orden 6, siendo este el mayor valor de la cuenca alta del río Guarinó, contando con la mayor afluencia de agua en la cuenca. La quebrada El Salado, el río Guarinó alto y el río Hondo, están conformados por una red de drenaje de orden de 5.

Las veredas La Sonrisa, Corazal, Los Cristales, La Suecia y Fonditas, son las veredas que están ubicadas dentro del área de influencia del PHM y reciben el agua de las cuencas hidrográficas de La Suecia, Cajones y Corcobados con un orden de drenaje 3, además del río Guarinó, que su orden es 6. Es necesario utilizar esta información a la hora de crear planes de manejo para las fuentes hídricas con el fin de asegurar el buen abastecimiento hídrico. ya que son fuentes abastecedoras y que por su confluencia de drenajes no son tan grandes. Por lo tanto, cualquier disminución en su caudal puede afectar las veredas aledañas.

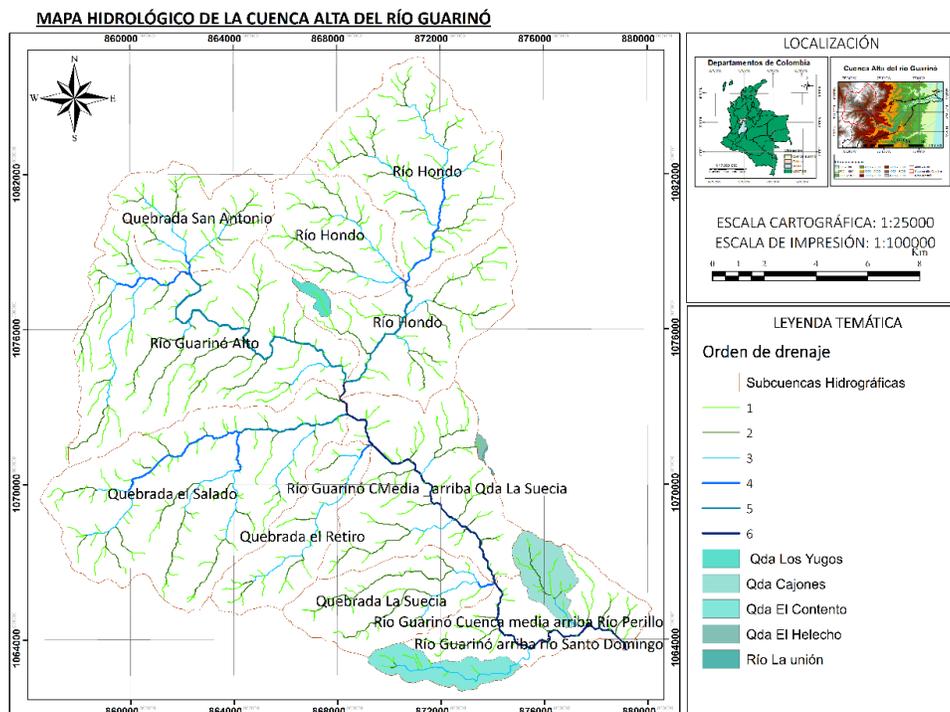


Figura 10.6. Mapa Hidrológico de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.

Perfil longitudinal del río Guarinó en el área de influencia directa del PHM.

La velocidad del flujo de agua en un cauce está estrechamente relacionada con la energía cinética, la cual es el agente que genera la morfogenética fluvial. De ella depende la capacidad de erosión y transporte fluvial y de acumulación aluvial.

El perfil longitudinal de un río es la representación gráfica de la línea que traza un curso desde su nacimiento hasta su nivel de base, y a lo largo de él se aprecian las diferentes competencias del flujo. Mientras mayor competencia posea el caudal mayor capacidad de erosión y transporte poseerá el escurrimiento (Instituto de geografía Universidad Católica de Chile, 2020).

Con base en lo anterior, para el AID se realizó la descripción del río Guarinó ubicado en esta área. Para su mejor visualización, se construyó el mapa para el perfil longitudinal (Ver Figura 10.7).

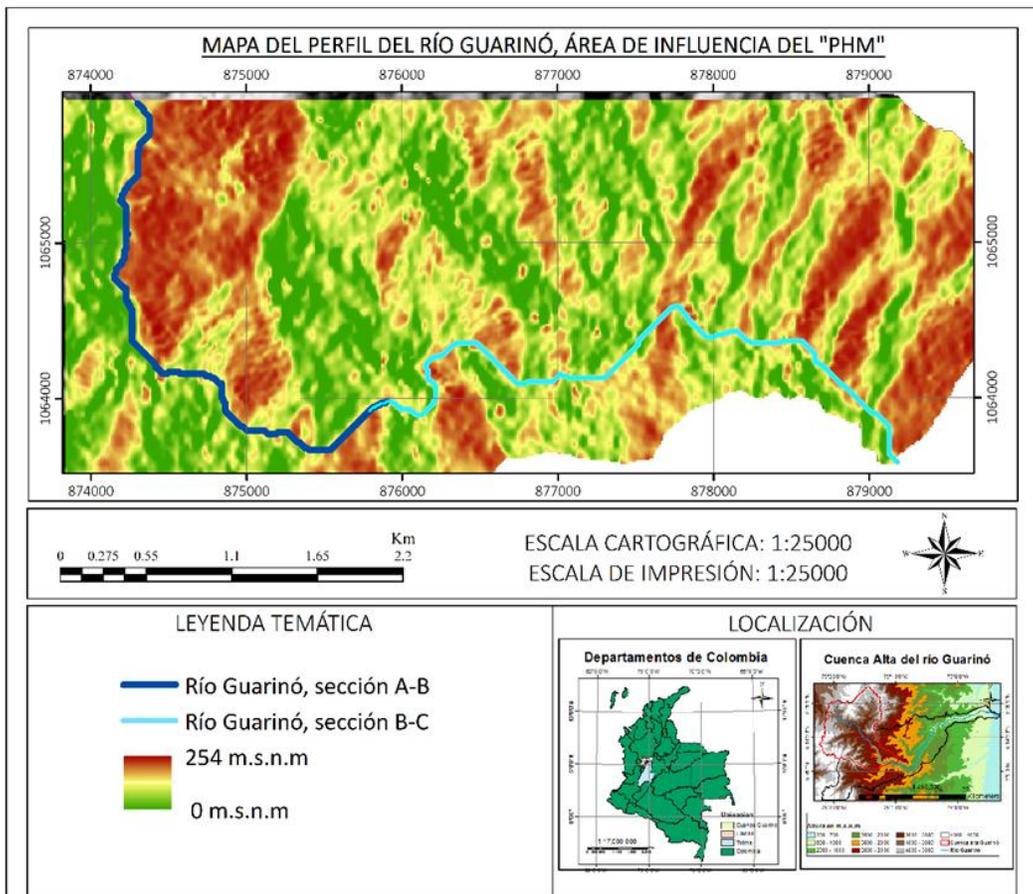


Figura 10.7 Perfil longitudinal del río Guarinó en el área de influencia directa. Elaboración propia.

La descripción del perfil longitudinal se realizó en dos partes debido a su gran extensión, para mejor entendimiento. Ambas secciones son descritas a continuación:

- **Sección A-B**

En la cota 1800 el río Guarinó tiene una pendiente de 0° durante al menos 750m, allí, cambia su pendiente a 66° en un recorrido de alrededor de los 100m y vuelve a estabilizarse su pendiente en 0° en los 850m sobre la horizontal hasta los 1800 m hacia el este. Seguido de esto, el río cambia su pendiente en 48° en una longitud de 50m hasta llegar a la cota 1840msnm. Su pendiente vuelve a ser de 0° en un tramo de 1000m sobre los 1840msnm. Allí, cambia su pendiente en un tramo de 50 m con un ángulo de 54° hasta la cota 1830msnm. Su pendiente se estabiliza en 0° durante 30 m del trazo del río. Desde la cota 1830msnm hasta la cota 1810msnm el río tiene una pendiente de 68° y tiene una longitud de 64m. Durante 750 m el lecho del río pasa gradualmente de la cota 1810 a la cota 1770 con una inclinación de aproximadamente 9° . Finalmente, En la cota 1770, el río estabiliza su pendiente en 0° durante 1.5Km. En conclusión, durante este tramo, en el río, se muestran dos zonas que pueden representar posibles zonas de inundación: i) entre las cotas 1840msnm y 1850msnm; y ii) entre las cotas 1790msnm y 1770msnm.

Esta descripción se realizó con base en la siguiente figura (Figura 10.8):

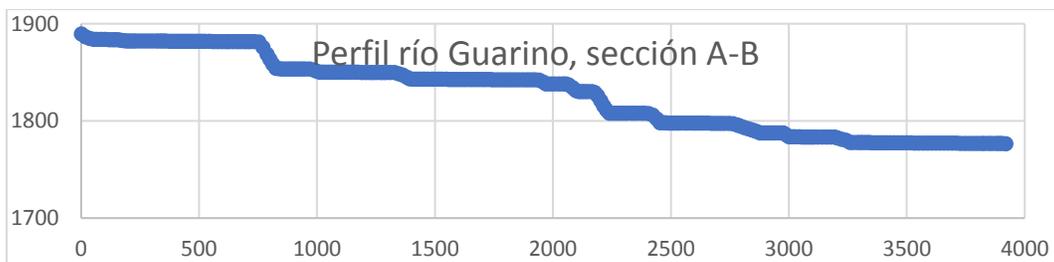


Figura 10.8 Perfil longitudinal del río Guarinó en el AID en la sección A-B. Elaboración propia.

- **Sección B-C**

En la cota 1770msnm, el río baja con una pendiente de 63° con una longitud de 73m, seguido de esto el río estabiliza su pendiente en 0° durante 1.1 Km sobre la cota 1740msnm. El río cambia su pendiente a un ángulo de 47° con una longitud de 201 m hasta la cota 1700msnm. Sobre esta última cota, el río estabiliza su pendiente a 0° en un tramo de 176m, el río cambia su pendiente a 28° durante 100 m hasta la cota 1680 msnm. En la cota 1680 msnm, el río cambia su pendiente a 0° con una longitud de 982 m y su pendiente vuelve a cambiar a 32° con una longitud de 320 m hasta llegar a la cota 1640 msnm y allí, la pendiente del río se estabiliza en 0° durante 260 m. El río cambia su pendiente durante 54 m con un ángulo de 43° , y su pendiente vuelve a ser de 0° por 416 m. El río nuevamente cambia su pendiente a 38° con una longitud de 78 m hasta llegar a la cota 1610 msnm, y en esta cota se estabiliza la pendiente del río en 0° durante un trayecto de 400m. El río cambia su pendiente a 42° en un trayecto de 400m y finalmente, vuelve a estabilizar su pendiente en la cota en 1550 msnm durante 200m.

En esta sección también se encuentran dos posibles zonas de inundación: i) En la cota 1740 msnm, el río tiene una pendiente de 0° en 1.1 Km y ii) en la cota 1680 msnm, el río tiene pendiente de 0° durante 982 m.

Esta descripción se realizó con base en la siguiente figura (Figura 10.9):

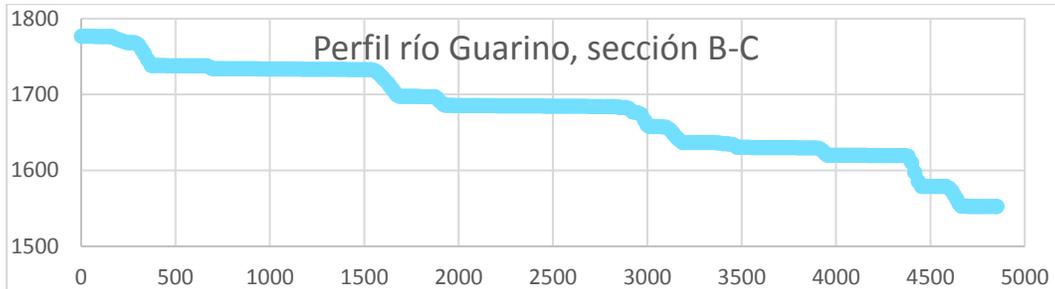


Figura 10.9 Perfil longitudinal del río Guarino en el AID en la sección B-C. Elaboración propia.

10.4 Paisaje

El paisaje es la expresión espacial y visual del medio. Es un recurso natural escaso, valioso y con demanda creciente, fácilmente depreciable y difícilmente renovable (Muños-Pedrero, 2004). El paisaje como el escenario de la actividad humana, cualquier acción artificial repercute inmediatamente en los factores perceptuales.

Se genera una gran inquietud en la sociedad a la hora de que se plantea un cambio en el entorno que conocemos y nos rodea. Para este caso, el paisaje es un factor ambiental que será afectado por el "PHM".

"Nuestros paisajes han conocido, un acusado proceso de cambio en las últimas décadas. En principio, esto no debería sorprendernos: si el paisaje es la realidad física engendrada por el diálogo entre la actividad humana y el entorno, tal como es percibida por la comunidad, toda sociedad dinámica-y las nuestras lo son particularmente- transformará, de manera inevitable, el paisaje en el que vive" (Busquets & Cortina, 2009).

Para la evaluación del impacto ambiental de la calidad paisajística para la cuenca alta del río Guarino, desde la perspectiva de estabilidad del terreno y cualquier perturbación del estado actual del paisaje, se construye un mapa de unidades de paisaje (Ver Figura 10.11). Este mapa, se obtiene a partir del cruce de las unidades geomorfológicas y las coberturas vegetales de la zona (IDEAM, 2010).

El mapa de paisaje está construido por el cruce entre el mapa de cobertura (Ver figura 10.10) y el mapa de geomorfología descrito en el numeral 10.4.

En la cuenca alta del Guarínó, la cobertura predominante es de bosques densos con un 34% del área, seguida de 17 % de arbustal, 15% de prados y praderas, 8% herbazales y el 26% distribuido en el resto de vegetación.

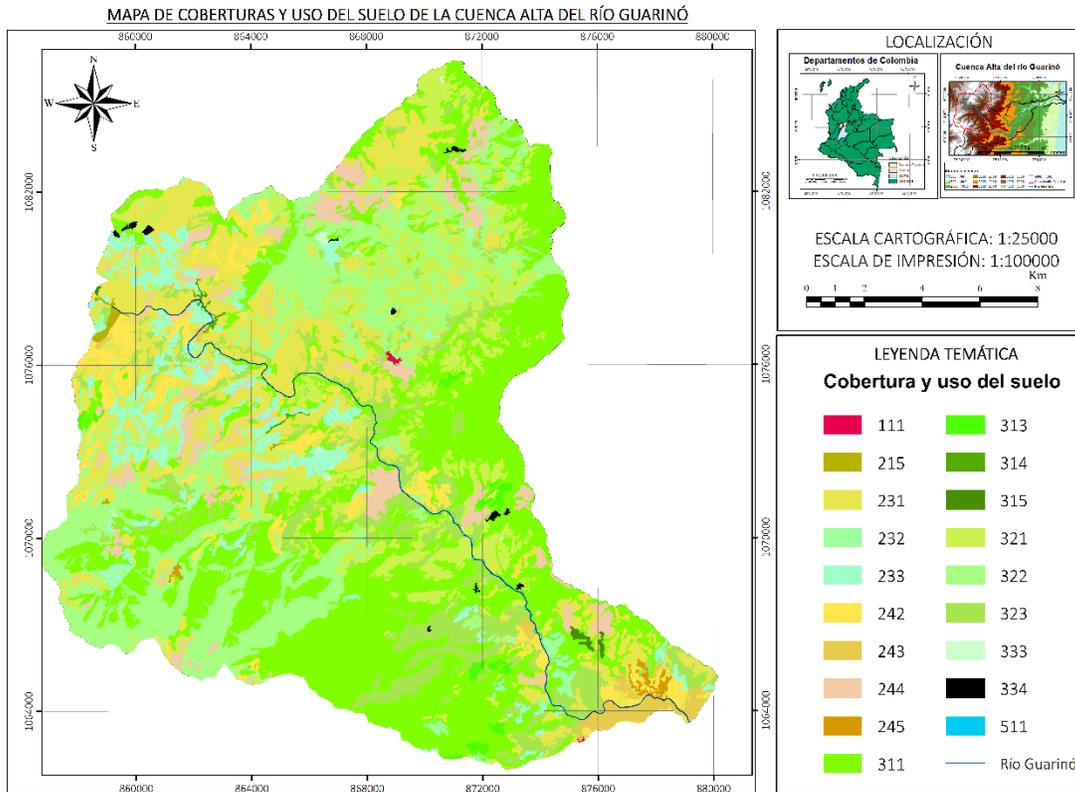


Figura 10.10. Mapa de cobertura y uso del suelo de la cuenca alta del río Guarínó. Elaboración propia.

Los códigos para cobertura y uso del suelo presentes en el mapa, según la metodología Corin Land Cover (Ardila et al., 2010), se presentan en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7. Leyenda del mapa Cobertura y uso del suelo, cuenca alta del río Guarínó, (Ardila et al., 2010). Elaboración propia.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111
Zonas agrícolas	Cultivos Transitorios	Tubérculos	215
	Prados y praderas	Prados y praderas	231
		Pastos arbolados	232

NIVEL 1	NIVEL 2		NIVEL 3	CODIGO	
			Pastos enmalezados	233	
		Zonas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos	242	
			Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	
			Sistemas agroforestales	244	
			mosaico de cultivos con espacios naturales	245	
Bosques y áreas semi naturales		Bosques	Bosques densos	311	
			Bosque fragmentado	313	
			Bosque de galería y ripario	314	
			plantación forestal	315	
		Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea	Herbazal	321	
			Arbustal	322	
			Vegetación secundaria o en transición	323	
		Áreas abiertas o con poca vegetación	Tierras denudadas y degradadas	333	
			Zonas quemadas	334	
	Superficies de agua		Aguas continentales		
		Río	511		

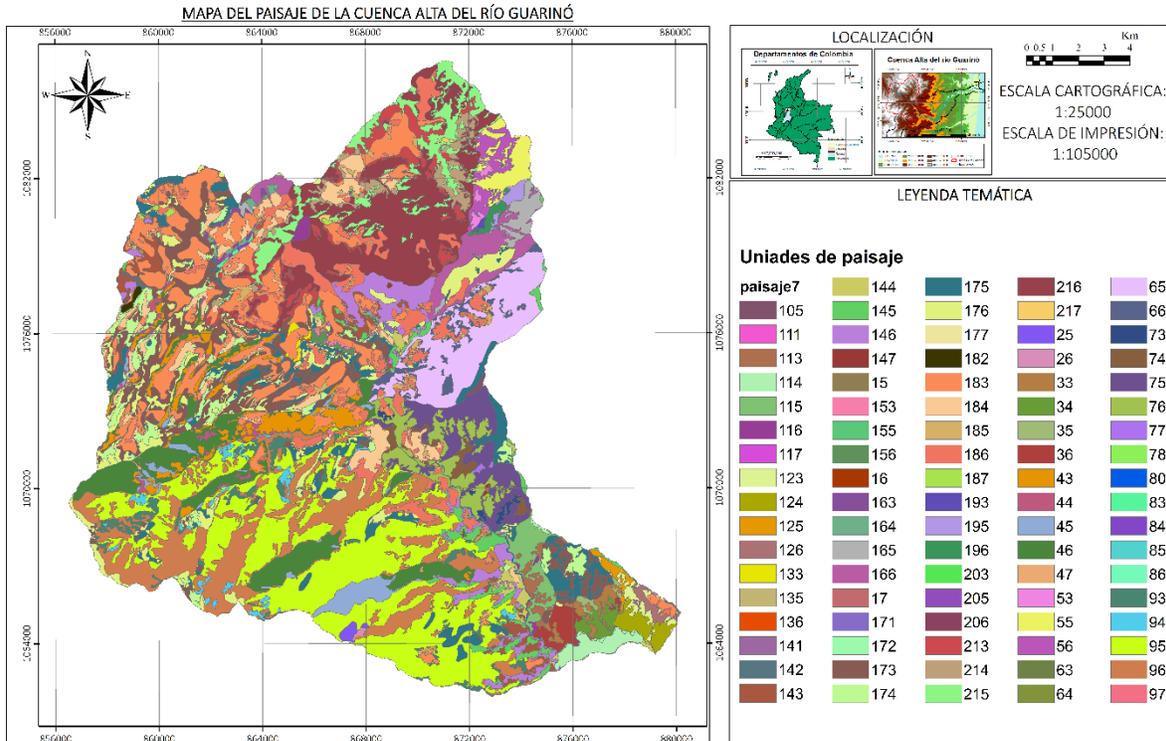


Figura 10.11 Mapa de unidades de paisaje para la cuenca alta del río Guarinó. Elaboración propia.

10.4.1 Unidades de paisaje dentro del área de influencia directa del PHM.

Las unidades del paisaje están conformadas por la cobertura del suelo y las unidades geomorfológicas, con el fin de establecer la calidad paisajística del AID del Proyecto Hidroeléctrico.

Se construye el mapa de unidades de paisaje para la zona de influencia del PHM con el fin de identificar y localizar las unidades de paisaje que serán afectadas por la construcción y operación del PHM, este mapa se encuentra a en la Figura 10.12 y en la Tabla 10.8 contiene la explicación de la leyenda del mapa.

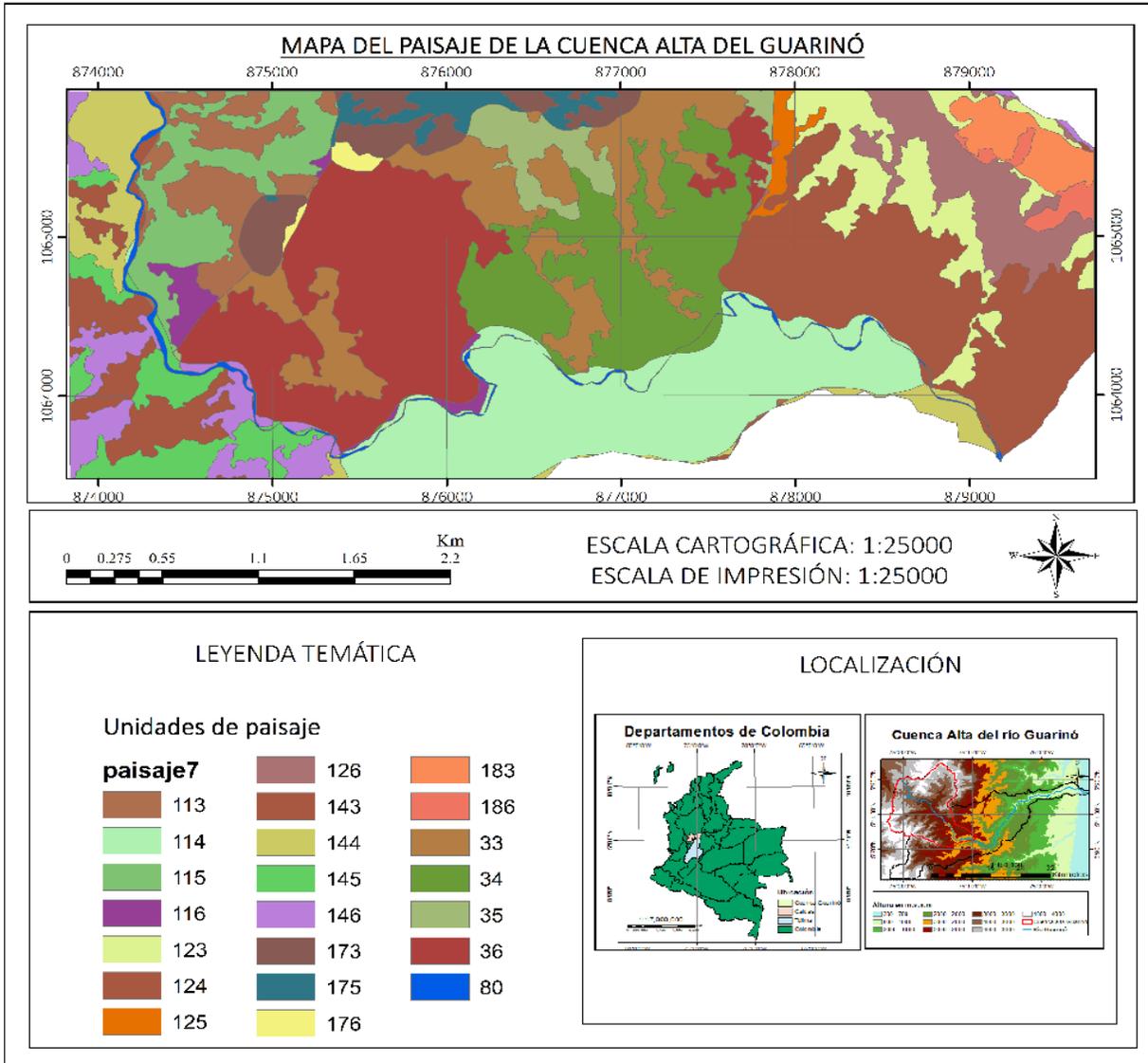


Figura 10.12 Mapa de Unidades de Paisaje para el área de influencia directa del PHM.

Tabla 10.8 Clasificación de código de Unidades de Paisaje en el área de influencia directa.

Código	Unidad de paisaje	Área (%)
114	Zonas agrícolas heterogéneas en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	13.9

Código	Unidad de paisaje	Área (%)
36	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Escarpe de erosión mayor	13.6
124	Zonas agrícolas heterogéneas en Ladera escalonada	12.6
34	Zonas agrícolas heterogéneas en Escarpe de erosión mayor	9.6
33	Prados y praderas en Escarpe de erosión mayor	8.3
123	Prados y praderas en Ladera escalonada	4.8
115	Bosques en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	4.3
126	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Ladera escalonada	4.2
143	Prados y praderas en Ladera estructural de sierra homoclinal	3.6
113	Prados y praderas en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	3.5
144	Zonas agrícolas heterogéneas en Ladera estructural de sierra homoclinal	3.4
145	Bosques en Ladera estructural de sierra homoclinal	3.3
146	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Ladera estructural de sierra homoclinal	3.3
173	Prados y praderas en Manto de piroclastos	2.8
35	Bosques en Escarpe de erosión mayor	2.2
183	Prados y praderas en Movimiento lento	1.8
175	Bosques en Manto de piroclastos	1.5
116	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	1.0
80	Aguas continentales	0.9
186	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Movimiento lento	0.7
125	Bosques en Ladera escalonada	0.7
176	Áreas con vegetación arbustiva y o herbácea en Manto de piroclastos	0.3

La construcción y operación del PHM causará una afectación en la zona de influencia directa del 85% de la zona agrícola y del 15% en la zona de bosques, en el área total de influencia.

En el AID, están presentes 22 unidades de paisaje como se muestra en la Figura 10.12y en la Tabla 10.8.

La unidad de paisaje zonas agrícolas heterogéneas en ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (**114**), es la unidad con mayor predominancia en la zona de influencia del PHM, con un 13.9 % de distribución de área, ubicado hacia el sur de la zona de influencia del PHM, en el margen derecho del río Guarinó aguas abajo.

Las áreas con vegetación arbustiva y/o herbácea en Escarpe de erosión mayor (**36**), cubren el 13.6% de área en la zona de influencia del proyecto, ubicada hacia el sur-occidente en la margen izquierda aguas abajo del río Guarinó, y respecto al túnel de conducción, al occidente y Nor-oriente, cubriendo 870 metros aproximadamente de la trayectoria del túnel.

La unidad de paisaje, zonas agrícolas heterogéneas en escarpe de erosión mayor (34), con una distribución del 9.6 % en área, ubicada en el centro de la zona, y directamente en las instalaciones del proyecto en un tramo de 170 metros aproximadamente por encima de la trayectoria del túnel de conducción.

La zona de descarga tiene dos unidades de paisajes, las zonas agrícolas heterogéneas en Ladera escalonada (124) con un 12.6% de cubrimiento de área sobre la zona, siendo esta la de mayor extensión en las zonas aledañas a la de descarga. Y, la unidad prados y praderas en Ladera escalonada (123) con 4.8% de área en la zona, cubre un tramo de la trayectoria del túnel de conducción con 541 m., unidades ubicadas hacia el oriente de la zona de influencia del PHM.

La unidad de paisaje, prados y praderas en escarpe de erosión mayor (33), con un cubrimiento de área de 8.3%, con distribución de 140 metros en el túnel, hacia el centro de la zona de influencia, y hacia el sur occidente.

La unidad de prados y praderas en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (113) tiene un cubrimiento del 3.5% de área en la zona de influencia, ubicado hacia el oriente y en el inicio del trayecto de conducción, con una cobertura sobre el túnel de 970m.

Las áreas con prados y praderas en ladera estructural de sierra homoclinal (143) tiene 3.6% de distribución en la zona de influencia, distribuido por el margen derecho del río Guarín, hacia el oriente de la zona, con una forma alargada.

Las zonas con unidad de bosques en Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (115) tiene 4.3% de cubrimiento de área en la zona, hacia el oriente, rodeando el área de descarga, con forma alargada.

La unidad de vegetación arbustiva y o herbácea en Ladera escalonada (126) tiene una distribución del 4.2%. en área en la zona, ubicado hacia el sur oriente de la zona de influencia.

La unidad bosques en escarpe de erosión mayor (35) cubre 329m de la trayectoria del túnel, con distribución menor al 3.5% como el resto de unidades y no están directamente en las instalaciones.

En la zona de influencia del PHM, se calculó el impacto ambiental al paisaje, generado por la construcción de las instalaciones del proyecto. La metodología usada consiste en enmarcar las instalaciones con una envolvente, para el caso de las vías de 100 m y una envolvente de 200 metros, para el caso de la zona de captación y descarga. Cabe resaltar, que no se tiene en cuenta las instalaciones proyectadas como subterráneas, por su tipo de construcción, porque no tendrán efecto directo en el paisaje.

El área mencionada anteriormente, se delimita en amarillo en la Figura 10.13. Al restar el área de afectación (zona en amarillo), al área total de influencia del proyecto (el recuadro del mapa), se obtiene que el área de afectación al paisaje por las instalaciones es de 3.5 km².

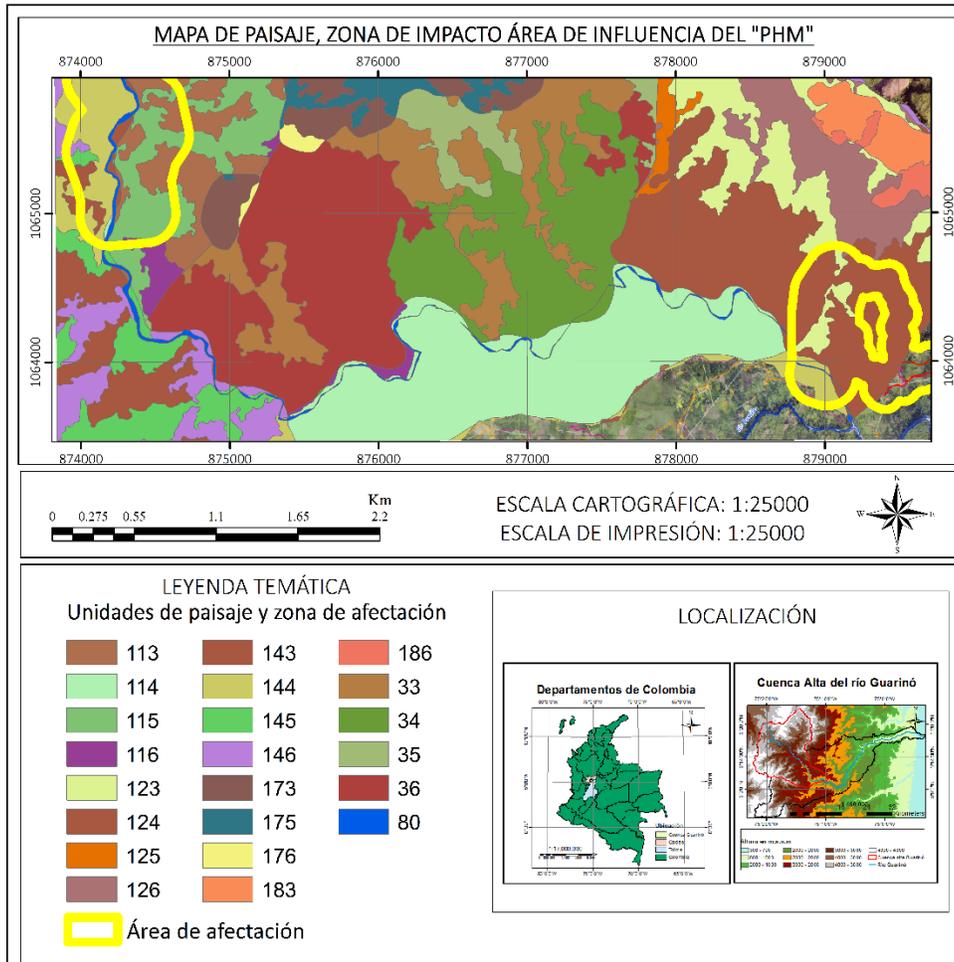


Figura 10.13. Mapa de paisaje, encerrado en amarillo se encuentra el are afectar por el PHM. Elaboración propia.

10.5 Síntesis de línea base

La zona directa de influencia del proyecto hidroeléctrico tiene una distribución general de roca en área aproximadamente del 22.9 % de Esquistos Cuarzo – Sericíticos, 75.9% de Cuarcitas y 1.2% de Rocas piroclásticas y Flujos andesíticos recientes. Además, una distribución general de unidades geomorfológicas en la misma área aproximadamente de La distribución general de unidades geomorfológicas en el AID es aproximadamente del 33.7% Deem; Escarpe de erosión mayor, el 22.3% de Sles; Ladera escalonada, el 14.4% Sshlc; Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, el 13% Sshle; Ladera estructural de sierra homoclinal, el 8.5% Sshlc; Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal y las demás unidades geomorfológicas cubren el el 8.1% restante de área.

La zona de influencia directa presenta una cobertura del 55% de bosques denso, 11% de mosaico de cultivos, 10% de Vegetación secundaria o en transición, 8% de prados y praderas y el 16% distribuido en el resto de vegetación.

La cuenca alta del Guarinó es intermedia a pequeña, con forma moderadamente achatada, ovala oblonga y poco alargada, lo que le da características para una baja posibilidad a la inundación. Además, es una cuenca con pendiente fuerte, gran potencial erosivo y geológicamente joven. También, la ramificación del sistema hidrográfico de la cuenca alta del Guarino es de orden 7, con capacidad de drenar la escorrentía, por lo tanto, tiene una baja probabilidad de inundación, con un cauce largo lo que puede generar avenidas torrenciales.

También, se encuentra en la sub-cuenca rio Guarinó media arriba del río Perillo y como sub-cuenca abastecedora de agua, la cuenca cajones, El río Guarino con un orden de drenaje 6, siendo este el mayor valor de la cuenca alta del Guarinó. Seguido, por la quebrada el Salado, el río Guarinó ato y el río Hondo, con un orden de 5.

El perfil del rio Guarinó Enel tramo de la zona de influencia directa del PHM, muestra en la Sección A-B dos mayores zonas de inundación: i) entre las cotas 1840msnm y 1850msnm; y ii) entre las cotas 1790msnm y 1770msnm. Y en la Seccion B-C, también se encuentran dos posibles zonas de inundación: i) En la cota 1740 msnm, el río tiene una pendiente de 0° en 1.1 Km y ii) en la cota 1680 msnm, el río tiene pendiente de 0° durante 982 m.

Las unidades de paisaje que predominan en el área de influencia del PHM son La unidad de paisaje zonas agrícolas heterogéneas en ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (13.9 %), Las áreas con vegetación arbustiva y/o herbácea en escarpe de erosión mayor (13.6%), La zona de descarga tiene dos unidades de paisajes, las zonas agrícolas heterogéneas en Ladera escalonada (12.6%), zonas agrícolas heterogéneas en escarpe de erosión mayor (9.6 %)

La unidad de paisaje, prados y praderas en escarpe de erosión mayor (8.3%). El otro 42 % está por distribuido en las 17 unidades de paisaje restante.

11 Evaluación del riesgo

11.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa son el producto de diversos elementos, donde la configuración morfológica y evolución de las laderas juegan un papel determinante (Brunsden, 2002; Griffiths et al., 2002; Hutchinson, 1995). los movimientos en masa representan modificaciones del terreno dentro del ciclo geomorfológico natural y continuo (Scheidegger, 1998). Cruden (1991) define el término como el

movimiento de una masa de roca, escombros o tierra a lo largo de una ladera. Bajo esta definición existe una gran variedad de movimientos en masa.

Cruden & Varnes (1996) usa como criterio principal para la clasificación, el tipo de movimiento y el tipo de material. Los tipos de movimientos definidos por estos autores son caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos, y propagación lateral. En tanto los materiales los dividen en suelo y roca. Una gran complejidad de movimientos puede surgir de la combinación de estos criterios sencillos.

Los movimientos en masa constituyen una de las causas más frecuentes de pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo (Schuster, 1996; Sidle & Ochiai, 2006), por lo que la evaluación de la amenaza por movimientos en masa y la capacidad de predecir dichos movimientos ha sido un tema de gran interés para la comunidad científica (Chacón et al., 2006).

11.1.1.1 Metodología para el cálculo de susceptibilidad.

Se calculan las variables condicionantes que favorecen a la ocurrencia de eventos de movimientos en masa. Las variables condicionantes están categorizadas en:

1. geométricas de la ladera: pendientes de la zona.
2. de categoría: Geología, Geomorfología, Unidades Geológicas Superficiales y Cobertura.

Se categorizaron las variables condicionantes para susceptibilidad con un rango de 1 a 5, siendo 5 la mayor susceptibilidad. Los valores dados a la susceptibilidad para las variables condicionantes se encuentran en la Tabla 11.1

Tabla 11.1. Susceptibilidad para las unidades de paisaje en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

Código	Unidades de paisaje	Susceptibilidad
231	Prados y praderas	5
232	Pastos arbolados	4
233	Pastos enmalezados	5
242	Mosaico de cultivos	5
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5
244	Sistemas agroforestales	4
245	mozaico de cultivos con espacios naturales	5
311	Bosques densos	1
315	plantación forestal	4
322	Arbustal	4
323	Vegetación secundaria o en transición	3
511	Río	1
Código	Unidades geomorfológicas	Susceptibilidad
Deem	Escarpe de erosión mayor	5

Código	Unidades de paisaje	Susceptibilidad
Dml	Movimientos Lentos	5
Sles	Ladera escalonada	3
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	2
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	3
Vmp	Manto de Piroclastos	2
Código	Unidad Geológica Superficiales	Susceptibilidades
Rmbefm	Rocas moderadamente blanda de esquistos, filitas y metareniscas	4
Rmbv	Rocas moderadamente blandas volcánicas	4
Rmdcp	Rocas moderadamente duras de cuarcitas y pizarras	3
Rmdefm	Rocas moderadamente duras de esquistos, filitas y metareniscas	4
Srcp	Suelo residual de cuarcitas y pizarras	3
Stpg	Suelo transportado piroclástico y glacial	5
Codigo	Nombre	Susceptibilidad
Pes	Esquistos Cuarzo - Sericiticos	5
Pq	Cuarcitas	3
Qa	Flujos andesíticos recientes	4
Qto	Rocas piroclásticas	1
Código	valor de la pendiente (%)	susceptibilidad
1	1 a 3	1
3	3 a 7	2
4	7 a 12	2
5	12 a 25	3
6	25 a 50	5
7	50 a 75	5
8	75 a 100	5
9	>100	5

Posteriormente. Se construyeron los mapas con la categorización de las variables condicionantes a la susceptibilidad y se cruzaron los mapas con un peso de importancia en porcentaje, de cobertura (30 %), geomorfología (25 %), unidades geológicas superficiales (20 %), geología (15 %) y pendientes. (10 %), con lo que se obtuvo, la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa y con estos valores se construyó un modelo de susceptibilidad.

En la Figura 11.1 se muestra esquemáticamente la metodología usada.

Metodología-cálculo de la susceptibilidad movimientos en masa

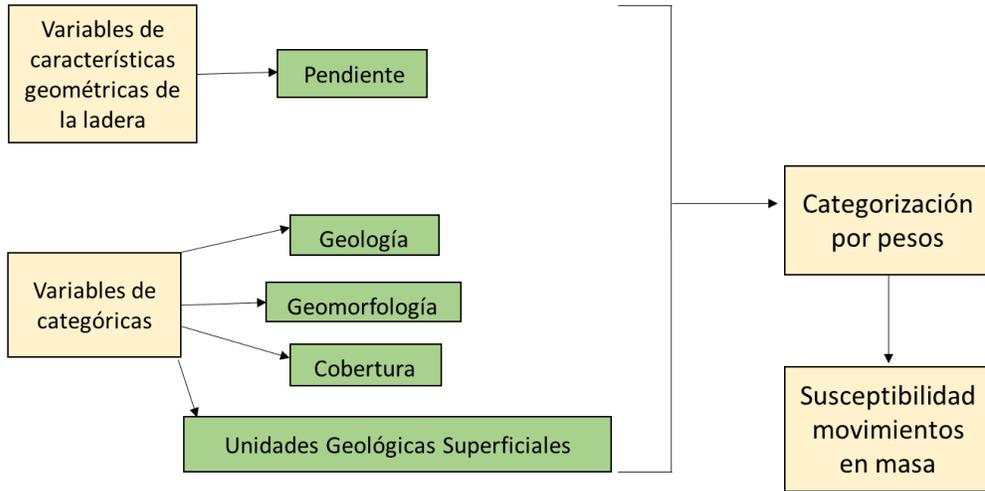


Figura 11.1. Metodología usada para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en masa. Elaboración propia.

11.1.1.2 Categorización de la susceptibilidad a movimientos en masa

Con la modelación de la susceptibilidad, por las características intrínsecas del terreno, Se categoriza la zona, identificando los sectores (alta)1, (media) 2 y (baja) 3 de susceptibilidad para este tipo de eventos. La categorización de susceptibilidad Para la zona de influencia directa del proyecto se encuentra representados en la Figura 11.1.

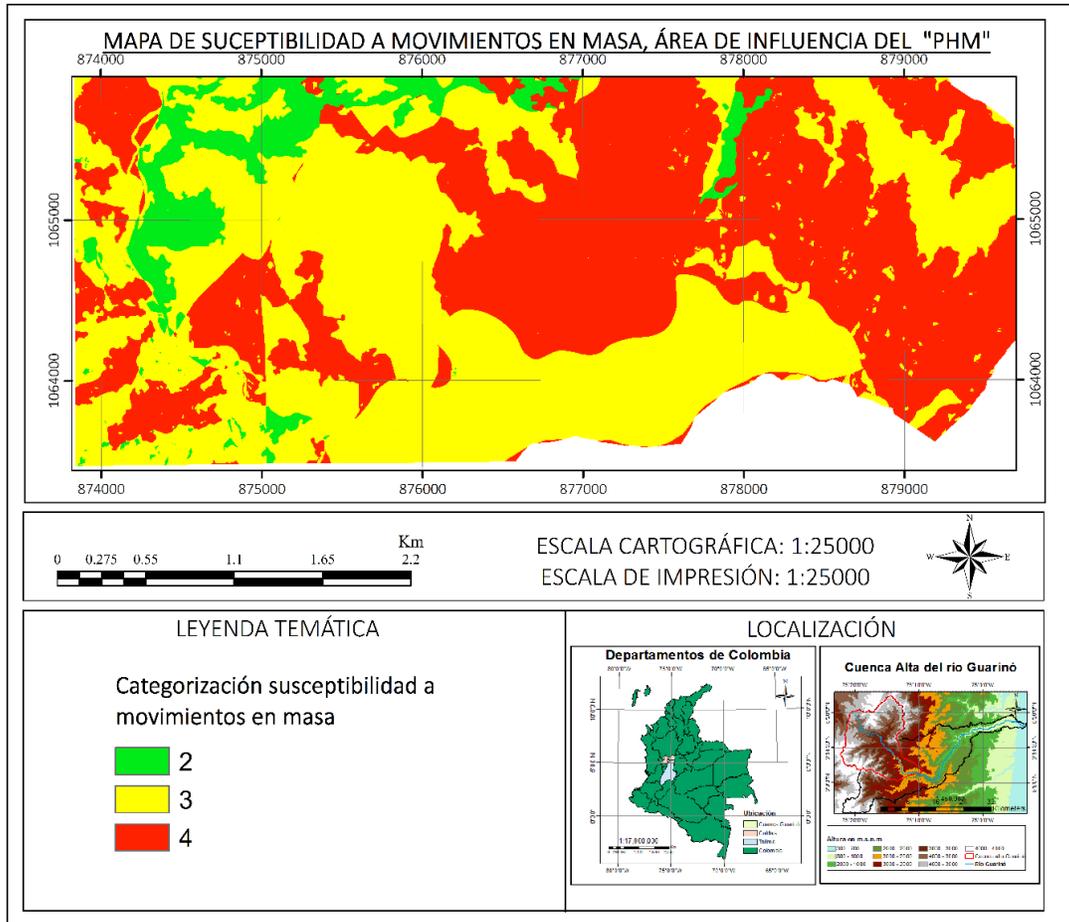


Figura 11.2. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

11.1.1.3 Análisis de susceptibilidad.

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por la la cobertura de la zona y el tipo de unidad geomorfológica y geológica.

Las zonas con susceptibilidad alta muestran una dispersa mayor hacia el oriente del área directa de influencia del PHM, por las veredas la sonrisa, corozal y noruega, y alrededor de las subcuencas cajones y la quebrada corcovados. En esta categorización, predominan las zonas agrícolas heterogéneas, los prados y praderas en laderas estructurales y rocas moderadamente duras de cuarcita.

La zona de categorización media, está distribuida principalmente en el centro y hacia el sur del área de influencia del PHM, en las veredas la Suecia, noruega, cristales, fonditas y el corregimiento Montebonito.

Áreas que predomina, con vegetación arbustiva y o herbácea, en laderas estructurales o escarpes denudativos y rocas moderadamente duras de esquistos cuarzo sericiticos.

La zona de categorización baja, está distribuida dispersa principalmente hacia la margen izquierda del rio Guarinó aguas abajo, zona occidental y nor-occidente del área de influencia de PHM, en las veredas fonditas, Suecia y corozal predomina bosques en laderas estructurales, mantos de piroclásticos, rocas moderadamente duras de cuarcitas y suelos transportado de rocas piroclásticas, flujos andesíticos recientes.

11.1.2 Amenaza por movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM.

11.1.2.1 Metodología para el cálculo de amenaza.

El evento a evaluar es la ocurrencia de movimientos en masa, sin la discriminación del tipo de movimiento.

Para el cálculo de la amenaza se calcula la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona, con los factores condicionantes, proceso explicado en el numeral anterior,

El factor detonante para de la amenaza utilizado es la precipitación máxima anual. Cabe resaltar que la sismicidad no fue utilizada para la modelación de la amenaza ya que según los valores de aceleración sísmica son mínimos, según los datos de la asociación de ingenieros sísmicos -AIS, (2009).

Posteriormente, con la susceptibilidad del terreno y la del factor detonante se calcula la amenaza, a los cuales se les otorgó un porcentaje de incidencia del 60% y 40 % respectivamente. En la se esquematiza la metodología utilizada Figura 11.3

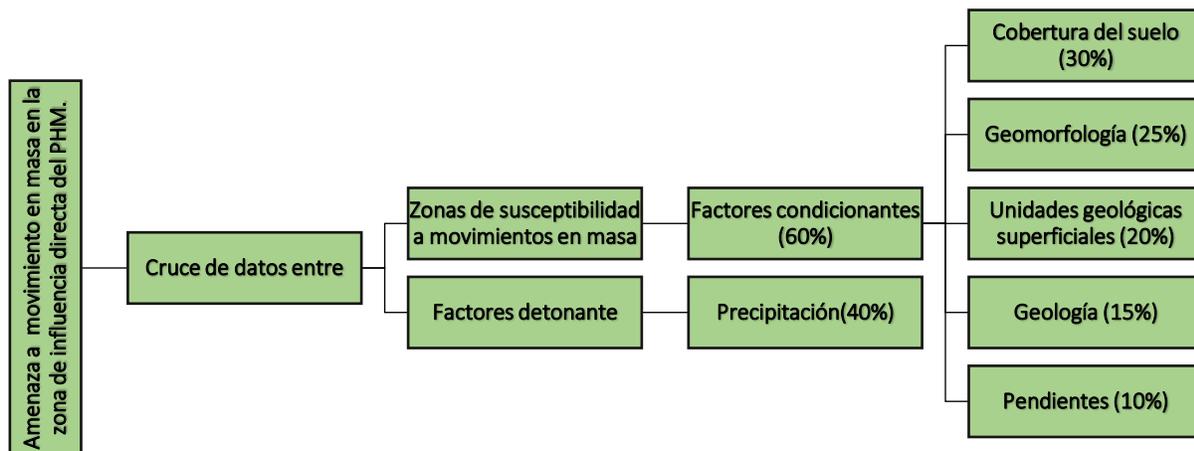


Figura 11.3. Cuadro representativo de la metodología utilizada para hallar la amenaza para movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

11.1.2.2 Categorización y análisis de la amenaza en el área de influencia directa

La amenaza por movimientos en masa en el AID (Figura 11.4) está distribuida de la siguiente manera:

En las zonas en las que la susceptibilidad es baja, y además, las precipitaciones anuales máximas no son tan altas, la amenaza es baja. Esta amenaza se encuentra distribuida cerca de la vereda La Suecia, en las zonas cercanas a donde se hará la construcción de las obras de captación del PHM. Además la cobertura que caracteriza esta zona, son los bosques, por lo tanto, las lluvias no inciden directamente en el terreno, creando un efecto “colchón” en el mismo. Estas áreas son aptas para el desarrollo de una construcción y no se esperan eventos desastrosos en la misma.

La amenaza media se da en el resto del AID debido a que las lluvias máximas son de rangos más altos, las zonas se caracterizan por coberturas de áreas arbustivas, de agricultura y prados, por lo tanto las lluvias inciden demasiado en el terreno, generando una mayor retención de agua en él; esto provoca inestabilidad en el suelo y por consiguiente el deslizamiento del material.

Para realizar construcciones donde el terreno está categorizado como amenaza media, se deben crear diseños adecuados que eviten eventos desastrosos tanto como para los operarios como para las instalaciones. Es de vital importancia tener en cuenta este modelo de amenaza para la elaboración de los diseños.

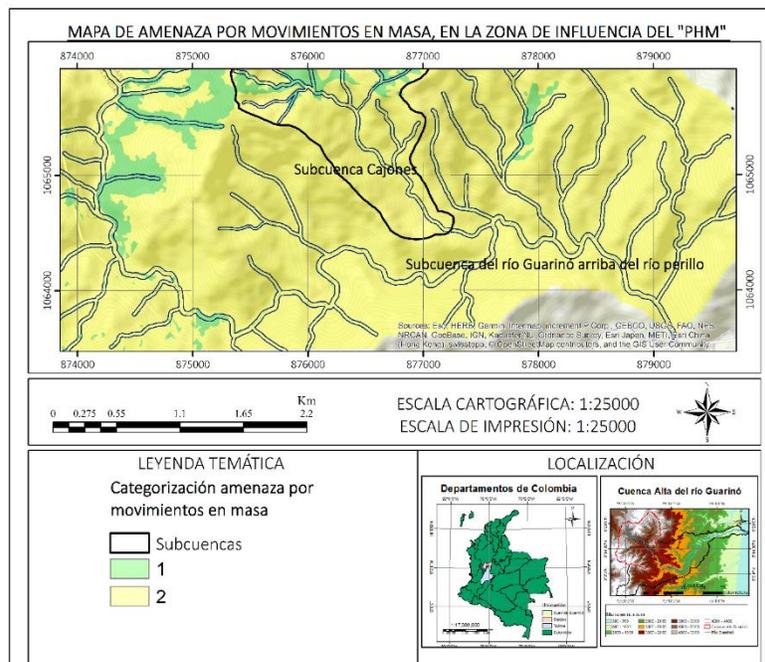


Figura 11.4. Mapa de amenaza por movimiento en masa en el AID del PHM Elaboración propia.

11.1.3 Vulnerabilidad de elementos expuestos a movimientos en masa

Los elementos expuestos con los que se evalúa la vulnerabilidad, son aquellas instalaciones proyectadas que permiten el funcionamiento óptimo del PHM como se muestra en la Tabla 11.2. En la Tabla 7.3 se encuentra la referencia con la que se halló la vulnerabilidad para el PHM.

Los elementos se encuentran ploteados como números en los mapas de riesgo, Cabe resaltar que se está evaluando la vulnerabilidad a movimientos en masa superficiales, por ende, las instalaciones subterráneas tendrán una vulnerabilidad "NULA". En la Figura 11.5 y Figura 11.6 se muestra el mapa de vulnerabilidad para las instalaciones.

Tabla 11.2 Instalaciones proyectadas por el PHM, elementos expuestos a amenaza por inundaciones. Elaboración propia.

Puntos	Zona	Vulnerabilidad
1	Captación	BAJA
2	Vía de acceso a la zona de captación	BAJA
3	Desarenador	ALTA
4	Túnel de conducción a flujo libre	NULA
5	Tanque de carga	MEDIA
6	Tubería a presión	NULA
7	Pozo vertical	NULA
8	Caverna de máquinas	NULA
9	Túnel de descarga	NULA
10	Descarga al río Guarinó	ALTA
11	Túnel de acceso a la caverna de máquinas	NULA
12	Vía al portal de la salida y tanque de carga	ALTA
13	Vía al nivel superior del pozo de carga	ALTA
14	Vía a la caverna de máquinas	ALTA

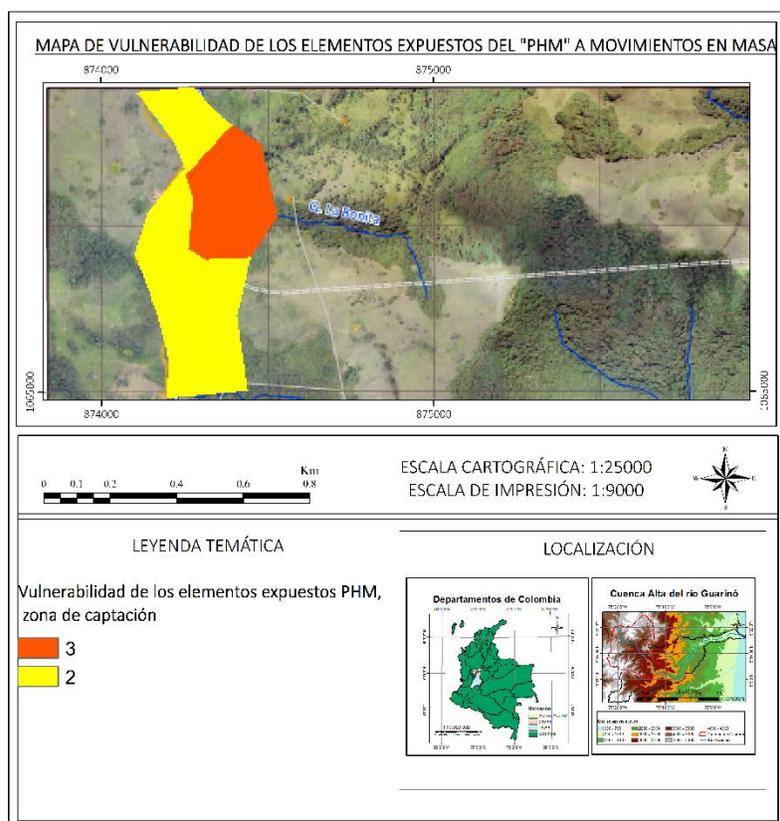


Figura 11.5 Mapa de vulnerabilidad a movimientos en masa en la zona de captación en el PHM. Elaboración propia.

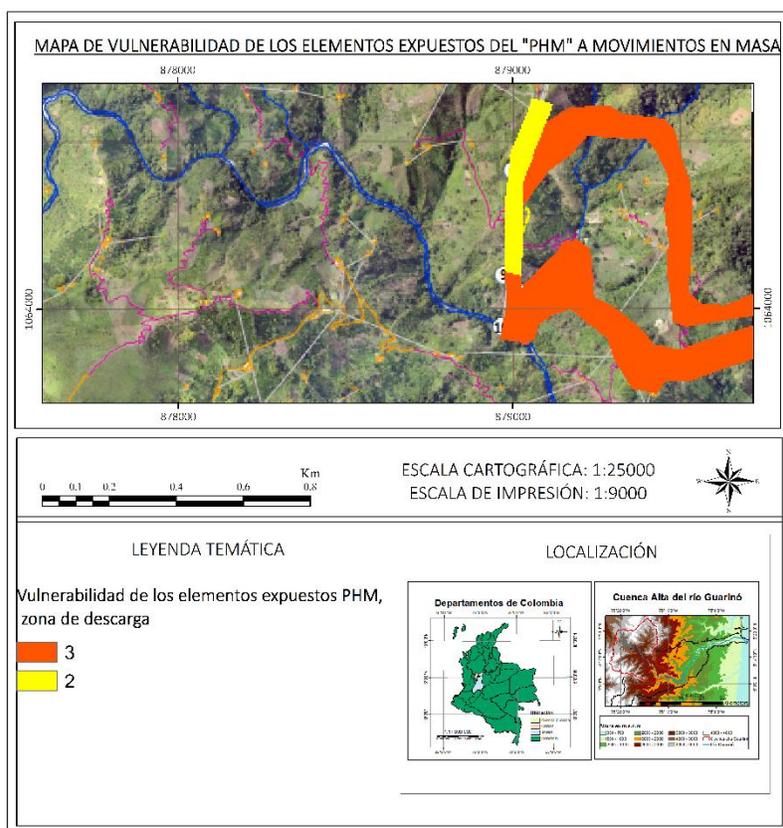


Figura 11.6 Mapa de vulnerabilidad a movimientos en masa en la zona de descarga en el PHM. Elaboración propia.

11.1.4 Riesgo ambiental por movimientos en masa

El riesgo está dado por la vulnerabilidad que tienen las instalaciones del PHM, a ser expuesto a la amenaza de movimientos en masa en las laderas.

11.1.4.1 Análisis de riesgo ambiental a movimientos en masa en el área de influencia directa del PHM

El riesgo se calculó a partir de la categorización de amenaza y vulnerabilidad para las instalaciones del PHM, referirse a la Tabla 11.3.

Tabla 11.3 Categorización del riesgo ambiental por inundaciones en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

Puntos	Zona	Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo
1	Captación	MEDIA	BAJA/MEDIA	ALTO

Puntos	Zona	Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo
2	Vía de acceso a la zona de captación	MEDIA	BAJA	MEDIA
3	Desarenador	MEDIA	ALTA	ALTO
4	Túnel de conducción a flujo libre	MEDIA/BAJA	NULA	NULO
5	Tanque de carga	MEDIA	MEDIA	MEDIO
6	Tubería a presión	MEDIA	NULA	NULO
7	Pozo vertical	MEDIA	NULA	NULO
8	Caverna de máquinas	MEDIA	NULA	NULO
9	Túnel de descarga	MEDIA	NULA	NULO
10	Descarga al río Guarinó	MEDIA	ALTA	ALTO
11	Túnel de acceso a la caverna de máquinas	MEDIA	NULA	ALTO
12	Vía al portal de la salida y tanque de carga	MEDIA	ALTA	ALTO
13	Vía al nivel superior del pozo de carga	MEDIA	ALTA	ALTO
14	Vía a la caverna de máquinas	MEDIA	ALTA	ALTO

El mapa de riesgo ambiental a movimientos en masa se muestra en las Figura 11.14 y Figura 11.15.

La zona de captación tiene un riesgo alto y medio, este valor es obtenido ya que se sectorizo la zona de captación con dos vulnerabilidades, la zona más alejada al talud se categorizo con vulnerabilidad media, y la zona más cercana al talud con vulnerabilidad alta. Por lo tanto, se obtuvo como resultado de riesgo alto para la zona cercana al talud y media para la zona más alejada. Se recomienda una adecuada intervención en el talud, para asegurar su estabilidad, para evitar daños a futuro.

La vía de acceso a la zona de captación se encuentra al margen derecho del río Guarinó aguas abajo, esta zona al tener una categorización de amenaza media por las características de la zona y una vulnerabilidad baja, por lo tanto, tiene un riesgo medio.

El desarenador es una estructura que se diseñara al lado de un talud, su vulnerabilidad es alta y además se categorizo la amenaza al evento en la zona como media, lo cual lleva a una categorización de riesgo alta, los daños a sufrir en caso de un evento de movimiento en masa podría causar daños económicos, ya que deterioraría el funcionamiento de la hidroeléctrica, por otro lado en fase de operación el riesgo hacia los operarios es bajo, debido a la baja exposición de los operarios en el sector del desarenador, Además, en fase de construcción puede ser de alta gravedad al ser plaquetas de concreto que pueden lesionar a los trabajadores. Se sugiere un adecuada estabilización y monitoreo del talud para la prevención de este riesgo.

El tanque de carga al encontrarse en la salida del túnel de descarga, presenta una vulnerabilidad media, se encuentra en el talud y con una amenaza media, por tanto, tiene un riesgo medio. Se sugiere la intervención del talud en la salida del túnel, para evitar riesgos.

La descarga al río Guarinó presenta un riesgo alto, ya que la salida del agua hacia el río se da en el talud, con una vulnerabilidad alta, por su ubicación, la amenaza al evento es media y las consecuencias de un deslizamiento serían severas, ya que se podría generar un taponamiento a la salida del agua generando daños irreversibles en la operación de la hidroeléctrica, o generando retención de agua en río, que podría causar un desencadenamiento de diversos eventos.

La vía al nivel superior del pozo de carga y la vía al portal de la salida y tanque de carga están calificadas como zonas de riesgo alto, debido a que su vulnerabilidad es alta, al estar ubicada en laderas, en caso tal de la eventualidad de un movimiento en masa pueden llegar a tener consecuencias de alta intensidad, extensas, temporales, de efecto directo, mitigable o reversible en el largo plazo, además generan lesiones graves o incapacidad parcial permanente a las personas que las use. Se sugiere a la empresa ejecutora del PHM, realizar un diseño de vías, teniendo en cuenta el corte de talud con mayor estabilidad, además de la debida intervención a los taludes, para evitar los movimientos en masa.

Túnel de conducción a flujo libre, la tubería a presión, el pozo vertical, la caverna de máquinas y el túnel de acceso a la caverna de máquinas, son instalaciones de tipo subterráneas, por ende, no estarán expuestas en la superficie y su vulnerabilidad es nula, y si el elemento no es vulnerable no existe riesgo alguno.

Para una mejor visualización y espaciado del riesgo ambiental que presentan los movimientos en masa en el AID del PHM, se muestran el mapa de riesgo. El primer mapa se refiere a la zona de captación y el segundo se refiere a la zona de descarga. El color rojo significa riesgo alto, el color amarillo significa riesgo medio.

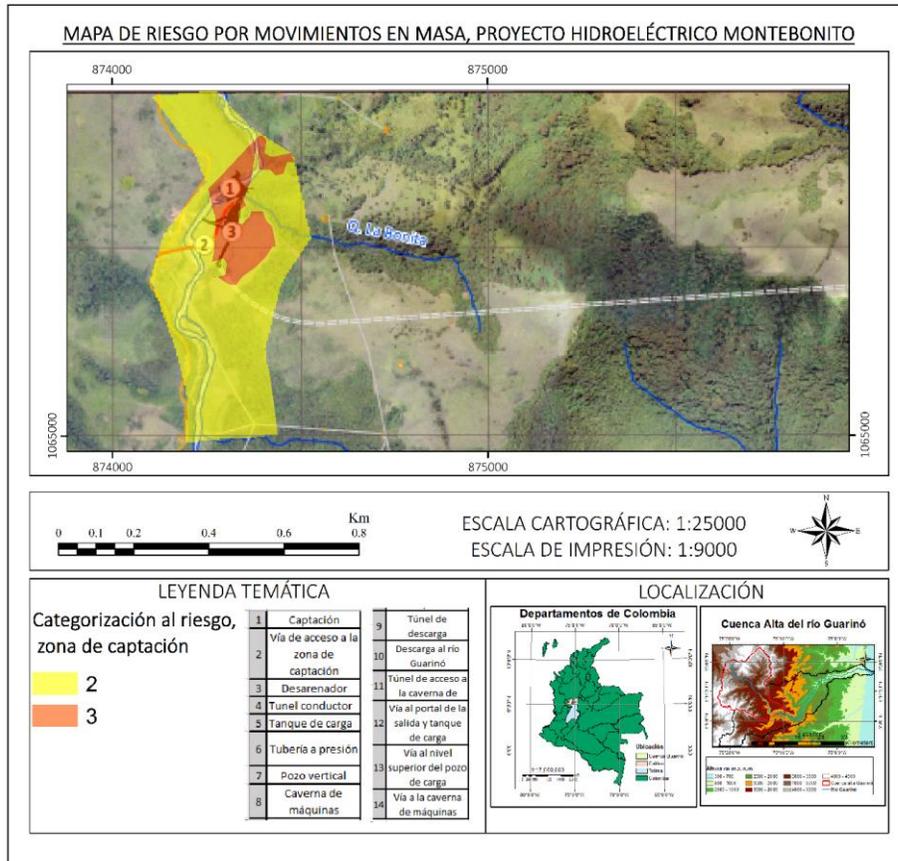


Figura 11.7. Riesgo a movimientos en masa para la zona de captación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

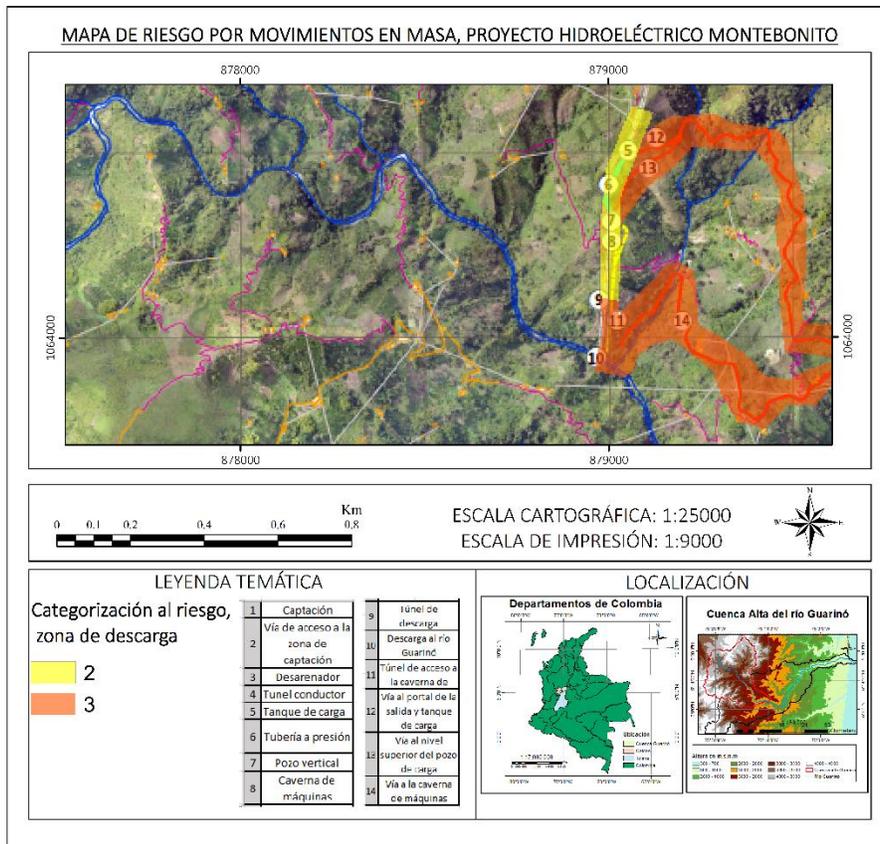


Figura 11.8. Riesgo a movimientos en masa para la zona de descarga en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

11.2 Inundaciones

Los caudales máximos o de creciente se presentan como respuesta a un episodio de lluvia de gran magnitud que escurre por una corriente. Las crecientes son eventos extraordinarios que se presentan en los cauces de las corrientes naturales, durante los cuales las magnitudes de los caudales superan con creces los valores medios normales en dichas corrientes. Las inundaciones son eventos naturales recurrentes que, en muchas ocasiones, se convierten en amenaza socio-natural debido a la intervención humana. Una inundación se produce cuando el caudal de una corriente o reservorio natural o artificial de agua supera la capacidad del cauce o de almacenamiento, ocasionando desbordamiento. Por lo regular ocurren como resultado de lluvias fuertes y continuas, que sobrepasan el poder de absorción del suelo, aumentándose la escorrentía que se incorpora al caudal de las corrientes superficiales (Hidrogeneradora PIJAO, 2016).

11.2.1 Caracterización de la susceptibilidad a inundaciones en el área de influencia directa del PHM.

11.2.1.1 Metodología para el cálculo de susceptibilidad a inundaciones.

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través de un análisis geomorfológico - histórico, donde se efectuó una interpretación de las geoformas y relieves de ambiente fluvial, aluvial y lacustrino a partir de: imágenes satelitales, DEM, modelo de sombras y pendientes y análisis de la información histórica. El objetivo de dicho análisis fue el de encontrar vestigios y evidencias físicas de inundaciones dentro de la cuenca. Una vez identificadas las geoformas (subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno) relacionadas con los eventos de desplaje de las aguas de un río, estas fueron categorizadas según la relación con la actividad fluvial (antigua, efímera o activa) (CORPOCALDAS, 2015)

Las Unidades del Terreno y Unidades Geomorfológicas que se encuentran en el AID, corresponden a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012).

Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a inundaciones (CORPOCALDAS,2015).

11.2.1.2 Categorización de la susceptibilidad a inundaciones en el AID.

Dentro del AID del PHM, hay información histórica reportada en el periodo comprendido entre 1998 y 2012. La tendencia de la ocurrencia muestra un aumento de eventos hacia el año 2012 asociados principalmente al fenómeno de La Niña (CORPOCALDAS,2015).

El AID tiene la siguiente clasificación de susceptibilidad (Ver Tabla 11.4)

Tabla 11.4 Susceptibilidad del área de influencia directa del PHM (Elaboración propia).

Tipo de relieve	Forma del terreno	Unidad Geomorfológica	Susceptibilidad
Crestón	Ladera estructural	Ladera de sierra homoclinal	Baja
		Ladera escalonada	
		Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	
	Ladera erosional	Escarpe de erosión mayor	Baja
Vallecito	Vega	Valle del río Guarinó	Alta

11.2.1.3 Análisis de susceptibilidad

En la zona de influencia directa del PHM, se tienen registros de aumento de lluvias por la presencia del fenómeno de La Niña y es posible que al aumentar la pluviosidad aumente la carga de agua que llega por escorrentía a los drenajes principales y secundarios, lo que genera un aumento en el caudal y, por lo tanto, ocurra un desbordamiento de las aguas de los drenajes hacia los orillares.

Las zonas de montaña como escarpes y laderas, tienen una susceptibilidad baja, debido a que el proceso de escorrentía es el proceso que allí predomina, mientras que los valles son quienes reciben toda el agua que filtra por las laderas.

De acuerdo al POMCA Guarinó (CORPOCALDAS, 2015), las vegas son formas de terreno del paisaje morfo-genético de montaña, lomerío y valle que se forman, sobre depósitos aluviales, por la acción de corrientes hídricas menores; en virtud de lo anterior, el fondo de los vallecitos es plano a suavemente inclinado y estos pueden sufrir inundaciones ocasionales; los valles presentan una alta susceptibilidad a inundaciones en periodos de aumento de pluviosidad. las vegas son formadas igualmente por la acción de corrientes hídricas, desarrollando topografías levemente inclinadas, donde el fondo de los vallecitos es plano a ligeramente plano y se catalogan con una alta susceptibilidad a este fenómeno; además de su topografía, los aumentos de caudales en periodos de altas lluvias aumentan esta susceptibilidad.

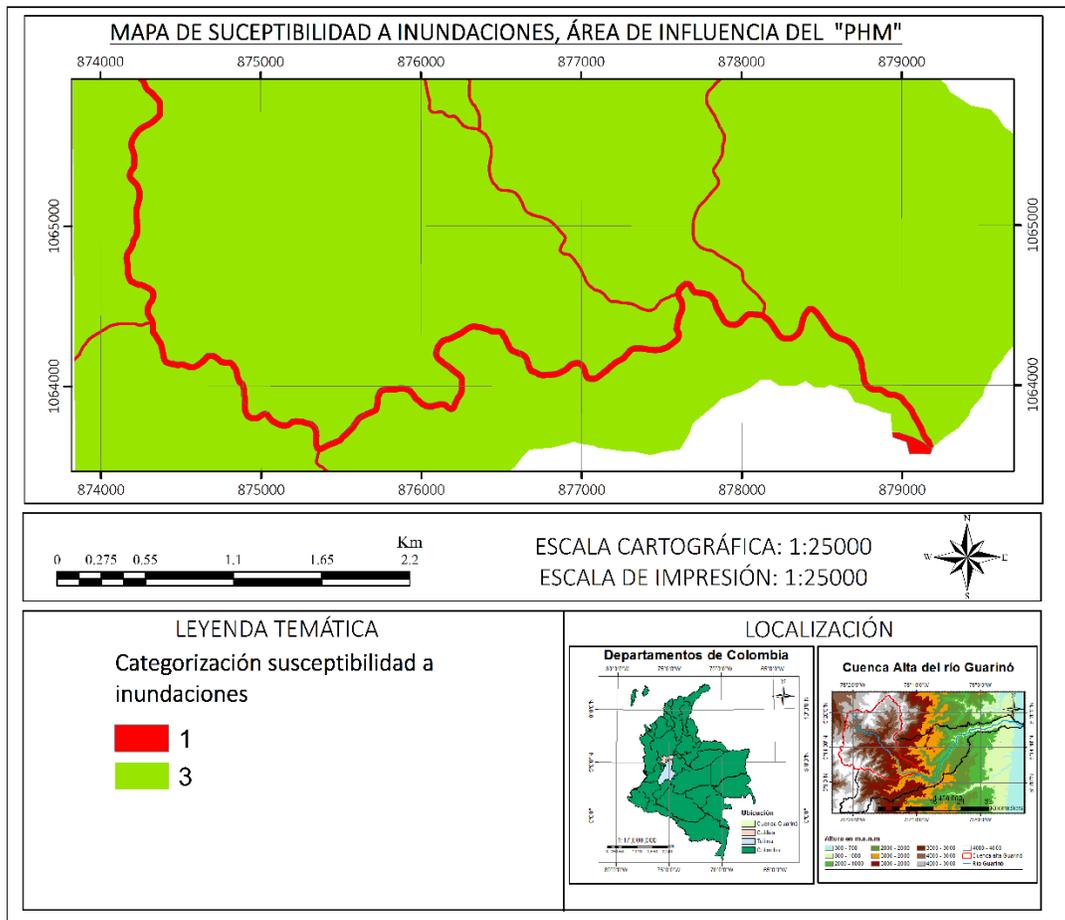


Figura 11.9. Mapa de susceptibilidad del terreno a inundación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

Una vez obtenida la susceptibilidad para el AID se procede a analizar la amenaza por inundaciones en esta zona.

11.2.2 Amenaza por inundaciones en el área de influencia directa del PHM.

11.2.2.1 Metodología para el cálculo de amenaza.

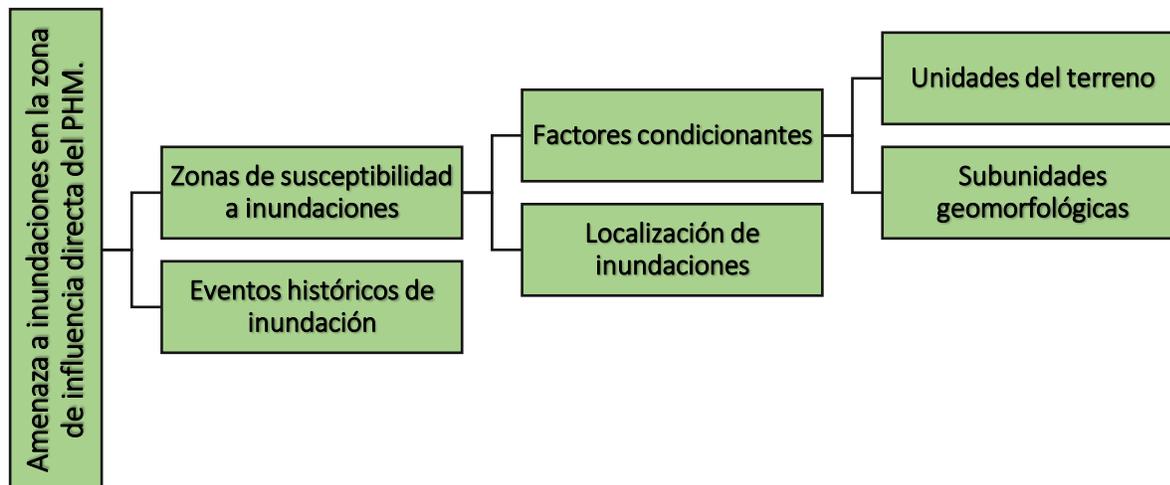


Figura 11.10 Cuadro representativo de la metodología utilizada para hallar la amenaza en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 11.10, las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza de inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Guarínó fueron la revisión de los eventos históricos y la categorización de los fenómenos de inundación que afectaron previamente el área, junto con la evaluación de susceptibilidad en la zona (CORPOCALDAS, 2015).

11.2.2.2 Categorización y análisis de la amenaza en el área de influencia directa

La zonificación de la amenaza por inundaciones en el AID del PHM, está distribuida de la siguiente manera:

Las zonas que se encuentran categorizadas como amenaza alta es debido a que, en estos lugares, existen registros históricos de inundaciones menores a 15 años de su ocurrencia y, además, la susceptibilidad a inundarse es media o alta debido al tipo de relieve predominante que corresponde generalmente a valles. Esta amenaza se presenta en el AID del PHM, en un 1.15%, en la confluencia con el río Perrillo.

Las zonas de amenaza media (abarca un 3.3% del área total de influencia directa en el PHM), son aquellos lugares donde la susceptibilidad a inundaciones es alta y los registros de inundaciones que se tienen, son mayores a 15 años y menores de 50 años en su tiempo de ocurrencia. Esta amenaza se presenta principalmente, en las quebradas Cajones y Corcobados y, en el río Guarínó. En el río Guarínó,

se realizó el perfil del río y los puntos en los que podría presentarse algún evento de inundación, son los siguientes:

- a) Sección A-B: se muestran dos zonas que pueden representar posibles zonas de inundación: i) entre las cotas 1840msnm y 1850msnm; y ii) entre las cotas 1790msnm y 1770msnm.
- b) Sección B-C: en esta sección también se encuentran dos posibles zonas de inundación: i) En la cota 1740 msnm, el río tiene una pendiente de 0° en 1.1 Km y ii) en la cota 1680 msnm, el río tiene pendiente de 0° durante 982 m.

Estas zonas son calificadas como posibles zonas de inundación debido a que su pendiente es plana durante tramos muy largos de hasta kilómetros, por lo tanto, cuando el caudal del cauce aumente por algún evento de lluvia excesiva, se sobrepasa la capacidad de carga de agua del río y se desbordan sus aguas generando el desplaye del río sobre las llanuras de inundación. Debido a que en el río Guarinó se proyecta la construcción de la captación para el PHM, si se da la inundación, es posible que se generen algunos daños, tanto en la construcción como en la operación.

Las zonas de amenaza baja son áreas en las que la susceptibilidad a inundaciones es baja debido a que el relieve pertenece a zonas de montaña y las unidades geomorfológicas predominantes son las laderas o escarpes, ya sean de ambientes estructurales o denudativos. En el AID esta amenaza se encuentra en las inmediaciones de las veredas La Sonrisa, Corazal y Los Cristales. Además, no se tienen registros históricos de inundaciones en esta área. El porcentaje que ocupada dentro del AID, corresponde al 95.5%.

La categorización de la amenaza está distribuida sobre el AID de la siguiente manera (Ver Figura 11.11):

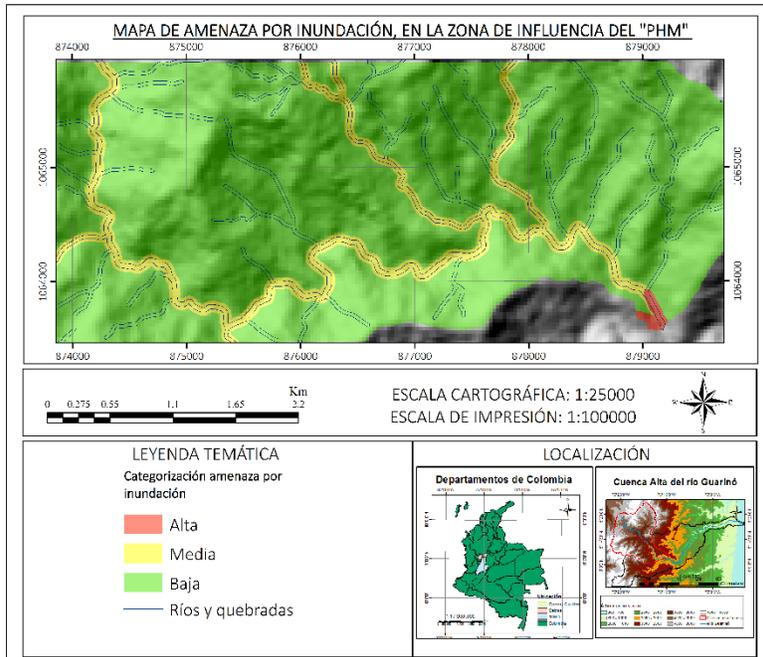


Figura 11.11 Mapa de amenaza por inundación en el área de influencia directa del PHM (Elaboración propia).

Luego de calcular la amenaza por inundaciones, se debe calcular la vulnerabilidad de los elementos expuestos dentro del AID del PHM. Este análisis de vulnerabilidad permite determinar cuál es el riesgo que existe frente a las inundaciones del PHM, con el fin de realizar planes de manejo que permitan disminuir su afectación en caso de presentar riesgos altos.

11.2.3 Vulnerabilidad de elementos expuestos a inundaciones:

Los elementos expuestos con los que se evalúa la vulnerabilidad, son aquellas instalaciones proyectadas que permiten el funcionamiento óptimo del PHM como se muestra en la Tabla 11.523. Los elementos se encuentran ploteados como números en los mapas de riesgo para su adecuada visualización. Los valores de vulnerabilidad que se encuentran como "NULA", se refiere a que las instalaciones que serán construidas de manera subterránea no se encuentran expuestas a eventos por inundaciones superficiales.

Los criterios utilizados para la determinación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos se muestran en la Tabla 11.5. En el capítulo de metodología, se encuentra la referencia con la que se halló la vulnerabilidad para el PHM.

Tabla 11.5 Instalaciones proyectadas por el PHM, elementos expuestos a amenaza por inundaciones. Elaboración propia.

Puntos	Zona	Vulnerabilidad
1	Captación	MEDIA
2	Vía de acceso a la zona de captación	MEDIA
3	Desarenador	BAJA
4	Túnel de conducción a flujo libre	BAJA
5	Tanque de carga	BAJA
6	Tubería a presión	BAJA
7	Pozo vertical	BAJA
8	Caverna de máquinas	BAJA
9	Túnel de descarga	BAJA
10	Descarga al río Guarinó	MEDIA
11	Túnel de acceso a la caverna de máquinas	NULA
12	Vía al portal de la salida y tanque de carga	BAJA
13	Vía al nivel superior del pozo de carga	BAJA
14	Vía a la caverna de máquinas	BAJA

El mapa de vulnerabilidad obtenido de la zonificación de vulnerabilidad fue el siguiente Ver Figura 11.12 para la zona de captación y la Figura 11.13 para la zona de descarga.

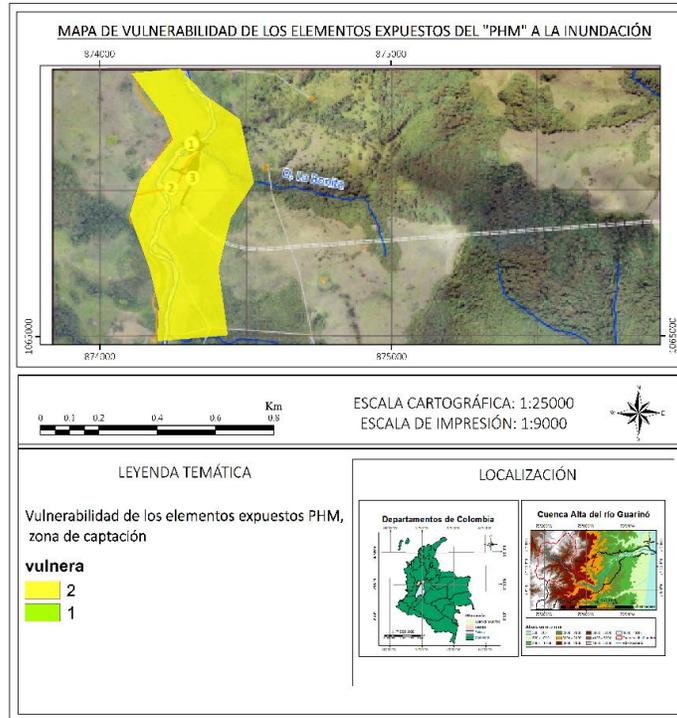


Figura 11.12 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en la zona de captación en el PHM. Elaboración propia

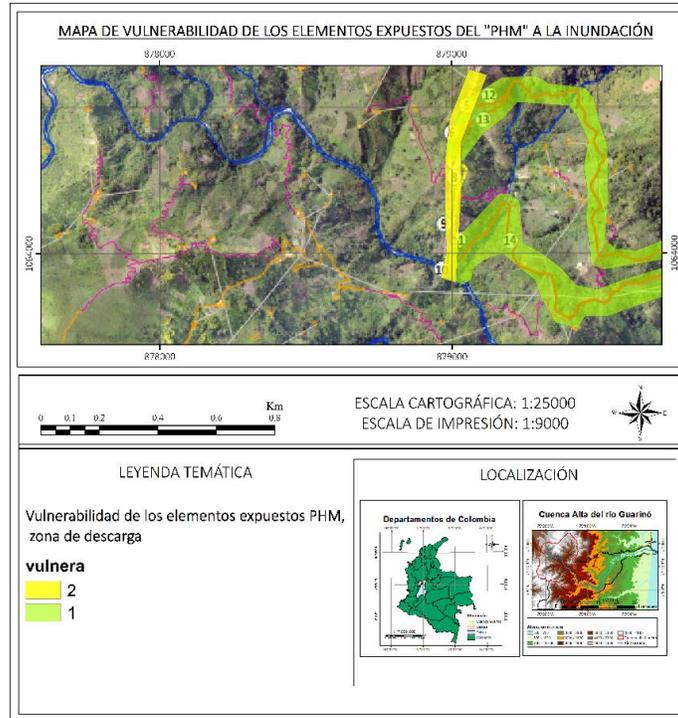


Figura 11.13 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones en la zona de descarga en el PHM. Elaboración propia.

11.2.4 Riesgo ambiental por inundaciones

11.2.4.1 Metodología para el cálculo de Riesgo

El riesgo debe ser evaluado con base en la susceptibilidad que tiene el medio a eventos de inundación y la capacidad que tiene el equipo operativo y las instalaciones del PHM para recibir el impacto del evento. El riesgo se evaluó de acuerdo a los siguientes ítems:

- Evaluación de la susceptibilidad del AID en el PHM.
- Revisión histórica de eventos de inundación cerca o en el a zona de influencia directa del PHM
- Evaluación y análisis de la amenaza por inundaciones en el sector del PHM.
- Categorización de la vulnerabilidad de los elementos expuestos (instalaciones y obras) del PHM.
- Finalmente, se evaluó el riesgo por inundaciones para el AID del PHM.

11.2.4.2 Análisis de riesgo ambiental en el área de influencia directa del PHM de inundaciones.

De acuerdo a lo anterior, se realizó una tabla compuesta de las instalaciones del PHM, el resultado de amenaza y vulnerabilidad para el cálculo de riesgo. Con base en esta, se propone un análisis de riesgo ambiental para el AID del PHM (Ver Tabla 11.6).

Tabla 11.6 Categorización del riesgo ambiental por inundaciones en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

Puntos	Zona	Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo
1	Captación	MEDIA	MEDIA	MEDIA
2	Vía de acceso a la zona de captación	MEDIA	MEDIA	MEDIA
3	Desarenador	BAJA	BAJA	BAJA
4	Túnel de conducción a flujo libre	BAJA	BAJA	NULA
5	Tanque de carga	BAJA	BAJA	BAJA
6	Tubería a presión	BAJA	BAJA	NULA
7	Pozo vertical	BAJA	BAJA	NULA
8	Caverna de máquinas	BAJA	BAJA	NULA
9	Túnel de descarga	BAJA	BAJA	BAJA
10	Descarga al río Guarinó	MEDIA	MEDIA	MEDIA
11	Túnel de acceso a la caverna de máquinas	BAJA	BAJA	NULA
12	Vía al portal de la salida y tanque de carga	BAJA	BAJA	BAJA
13	Vía al nivel superior del pozo de carga	BAJA	BAJA	BAJA
14	Vía a la caverna de máquinas	BAJA	BAJA	BAJA

El riesgo por inundaciones en la zona de captación (puntos 1 y 2) es medio, debido a su cercanía con el río Guarinó, por algún evento fortuito puede llegar a generar inundaciones. Se considera que la vulnerabilidad de ambos puntos es media y de acuerdo a esto, se propone tomar medidas de precaución por parte del equipo operativo del PHM, ya que se puede poner en riesgo tanto la construcción como la operación, en las áreas de la captación y de la vía que la conecta.

El desarenador, por el contrario, se cataloga como riesgo bajo debido a que tanto su amenaza como la vulnerabilidad que presenta son bajas, en caso de ocurrir una inundación se espera que no ocurra ningún daño en la infraestructura del PHM.

El túnel de conducción está proyectado para ser construido de manera subterránea, por lo tanto, se cataloga como una instalación en la que no existe riesgo por inundaciones de aguas superficiales. Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos de amenaza y vulnerabilidad.

El túnel de descarga está catalogado como riesgo medio debido a que se encuentra justo en el borde el río Guarinó y al ocurrir una inundación por aumentos en el caudal del río, pueden ocurrir daños en el personal operativo o en las instalaciones del PHM.

La tubería a presión, el pozo vertical, la caverna de máquinas y el túnel de acceso a la caverna de máquinas, no presentan riesgo por inundaciones superficiales puesto que su construcción es superficial. La vía al nivel superior del pozo de carga y la vía al portal de la salida y tanque de carga están calificadas como zonas de riesgo bajo, debido a que su construcción y operación se realizarán en zonas de laderas o escarpes, alejadas de valles que puedan representar algún riesgo por inundaciones; esto se ve reflejado en el análisis de vulnerabilidad y amenaza.

En conclusión, el PHM no se encuentra en una ubicación altamente riesgosa por inundaciones debido a que la mayoría de sus instalaciones serán construidas en zonas de laderas y escarpes, no se tienen eventos históricos cercanos de inundaciones y presentan una baja vulnerabilidad frente a los eventos de inundación. Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de una inundación es baja en las zonas montañosas y alta en las zonas de valles y cauces principales.

Para una mejor visualización y espaciamento del riesgo ambiental que presentan las inundaciones en el AID del PHM, se realizaron dos mapas, en los cuales se ubica la zona amenazante con los elementos expuestos. El primer mapa se refiere a la zona de captación y el segundo se refiere a la zona de descarga. El color rojo significa riesgo alto, el color amarillo significa riesgo medio y el color verde significa riesgo bajo. (Ver Figura 11.15 para la zona de descarga y la Figura 11.14 para la zona de captación) La base referencia para la calificación de riesgo se muestra en el capítulo de metodología.

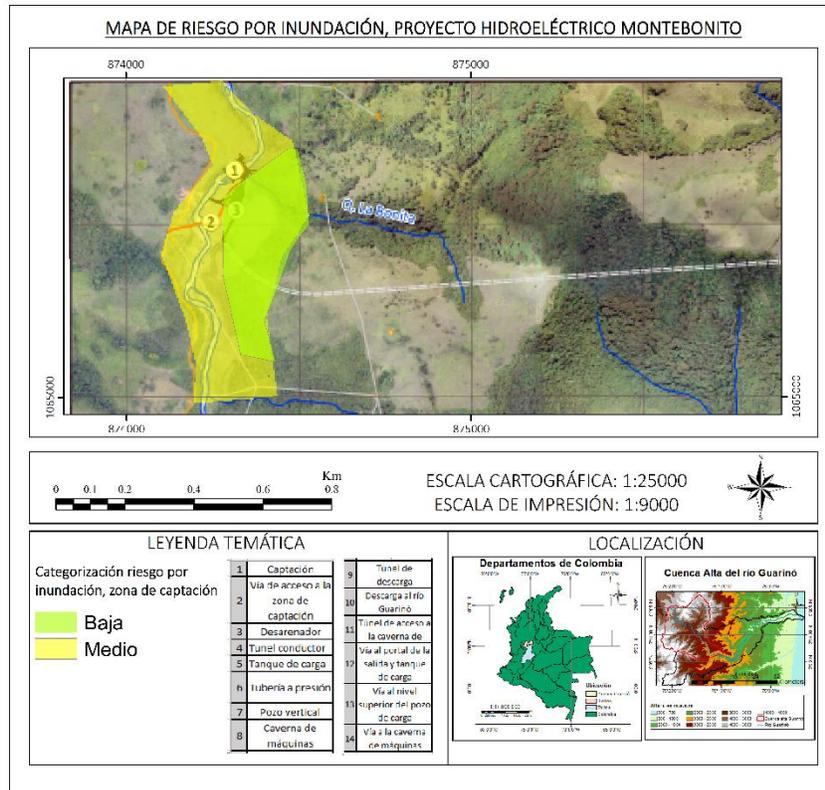


Figura 11.14 Riesgo para la zona de captación en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

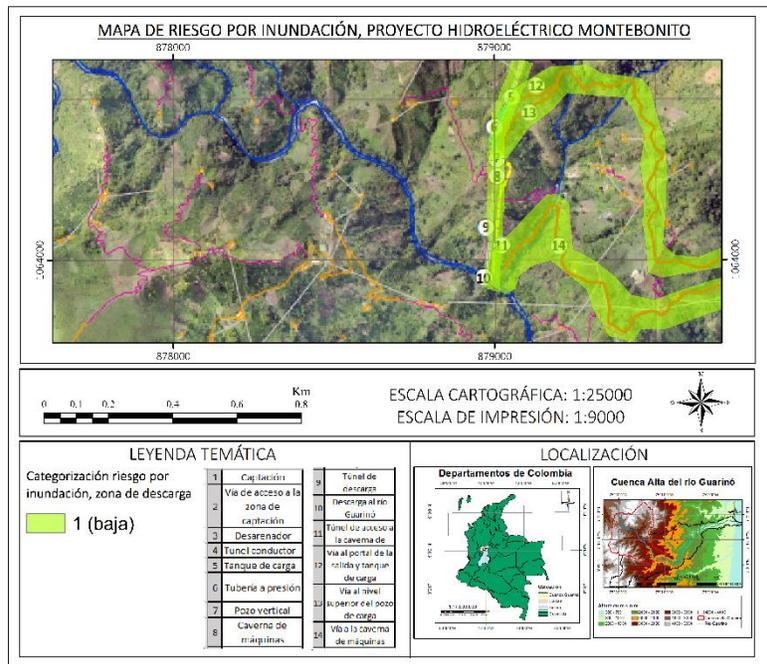


Figura 11.15 Riesgo para la zona de descarga en el área de influencia directa del PHM. Elaboración propia.

11.3 Cercanía de las viviendas a las instalaciones

Dentro del análisis de riesgo para las instalaciones del proyecto también es necesario realizar un análisis de riesgo para los predios aledaños al PHM, puesto que existen predios que se encuentran desde 50 m de cercanía hasta 500 m y la construcción del PHM, puede aumentar la situación de riesgo para estas viviendas. Con la herramienta Google Earth, 2020, se han puesto marcas de color amarillo y las instalaciones de color azul para la visualización de la cercanía que existe entre el PHM y los predios. En un diámetro de 500 m están construidas alrededor de 10 viviendas (Ver Figura 11.16).



Figura 11.16 Cercanía de predios al PHM (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

12 Evaluación de impactos

Una matriz de interacción de doble entrada entre los factores ambientales que reciben el impacto y las acciones susceptibles que generan el impacto permite llevar a cabo la identificación de los impactos ambientales que genera una determinada actividad.

Para este caso, se elaboraron dos matrices de interacción, con proyecto y sin proyecto, con los factores de geología, geomorfología, suelos, paisaje, geotecnia y fuentes hídricas.

Las acciones que se tuvieron en cuenta en la matriz de la Tabla 12.1 fueron las relacionadas con las actividades antrópicas y los eventos naturales que se dan comúnmente en el área de influencia del PHM y son:

Altas pendientes del terreno, Proceso de escorrentía, Proceso de infiltración, Alta precipitación, Retención de agua del terreno, Cauces hídricos con alto gradiente hidráulico, Características de la vegetación, Altas temperaturas, Actividad pecuaria, Agricultura, Uso de agroquímicos, Deforestación por quemas, Tala de árboles, Quema de basuras, Minería (Oro), Construcción de vías y/o mantenimiento y Explotación de materiales de construcción.

En la matriz (ver Anexo 8) acciones que generan el impacto fueron las relacionadas con las actividades directas del PHM en sus tres fases: i) construcción, ii) operación y iii) abandono y son:

Transporte de equipos y materiales de construcción, Construcción de instalaciones provisionales (talleres, campamentos, estación de gasolina, etc...), Construcción de pozo séptico, Instalación de planta de potabilización, Remoción de vegetación y descapote, Rehabilitación y construcción de vías, Instalación de plantas de trituración y concreto, Excavación para la captación, Excavación para la conducción Y casa

de máquinas, Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria, Construcción de la desviación del río Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre, Construcción del pozo vertical, Tubería de conducción, Obras de estabilidad en las laderas, Voladura (Dinamita), Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico, Descarga de fondo y vertimiento de exceso, Descarga de aguas turbinadas, Descarga de sedimento por desgravador y desarenador y Demolición de infraestructura Elementos y estructuras abandonados

Tabla 12.1 Matriz de interacción de los eventos naturales y las actividades antrópicas sin PHM con los factores ambientales. Las "X" indican interacción. Elaboración propia.

Matriz de interacción sin "PHM"		Factores ambientales que reciben el impacto, (componentes ambientales)					
		GEOLÓGICA	GEOMORFOLOGÍA	SUELOS	PAISAJES	GEOTECNICAS	FUENTES HÍDRICAS
CAUSAS NATURALES	Altas pendientes del terreno		X	X	X	X	
	Procesos de infiltración	X	X	X	X	X	X
	Proceso de escorrentía	X	X	X	X	X	X
	Alta precipitación	X	X	X	X	X	X
	Retención de agua del terreno	X	X	X	X	X	X
	Cauces hídricos con alto gradiente hidráulico	X	X	X	X	X	
	Características de la vegetación		X	X	X	X	X
	Altas temperaturas			X	X		X
FACTOR ANTRÓPICO	Actividad pecuaria	X	X	X	X	X	X
	Agricultura	X	X	X	X	X	X
	Uso de agroquímicos			X			X
	Deforestación por quemas	X	X	X	X	X	X
	Tala de árboles	X	X	X	X	X	
	Quema de basuras			X	X		
	Minería legal (oro)	X	X	X	X	X	X

	Manejo de taludes	X	X	X	X	X	X
	Construcción de vías y/o mantenimiento	X	X	X	X	X	X
	Materiales de construcción	X	X	X	X	X	X

Con base en el tipo de interacción de la matriz anterior y la matriz de interacción con proyecto (referirse al anexo 16.3), se generaron 2 matrices de impactos ambientales con y sin proyecto (Tabla 12.2), (Tabla 12.3). en la Tabla 12.3 se muestra la fase de operación y abandono, para la fase de construcción ver los Anexo 9 y Anexo 10. Estas matrices se construyen con el fin de determinar qué impactos se generan hoy en día en la zona cerca del corregimiento de Montebonito teniendo en cuenta las prácticas que se realizan normalmente por los ciudadanos, y además los impactos que se generarán por la construcción del PHM.

Tabla 12.2. Matriz de identificación de impactos ambientales sin el PHM La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SIN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MONTEBONITO																			
MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	CAUSAS NATURALES						CAUSAS ANTRÓPICAS SIN PHM										
			Altas pendientes del terreno	Proceso de escorrentía	Proceso de infiltración	Alta precipitación	Retención de agua del terreno	Cauces hídricos con alto gradiente hidráulico	Características de la vegetación	Altas temperaturas	Actividad pecuaria	Agricultura	Uso de agroquímicos	Deforestación por quemas	Tala de árboles	Quema de basuras	Minería (Oro)	Construcción de vías y/o mantenimiento	Explotación de materiales de construcción
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad																	
		Caída de roca																	
		Movimientos en masa																	
		Aumento en la meteorización																	
	GEOMORFOLOGÍA	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos																	
		Pérdida de unidades geomorfológicas																	
		Adición de material superficial																	
	SUELOS	Socavamiento de superficies																	
		Pérdida de potencial agrológico																	
		Inundaciones																	
	PAISAJE	Aumento de riesgo por incendio																	
		Modificación de la calidad visual																	
		Cambio en el uso del suelo																	
	GEOECNIA	Inestabilidad de taludes																	
		Disminución o aumento de niveles freáticos																	
	FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes																	
Aumento de riesgo por avenidas torrenciales																			

Tabla 12.3. Matriz de identificación de impactos ambientales en el PHM, para la fase de operación y abandono. La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	Matriz de identificación de impactos ambientales "PHM"					
			FASE DE OPERACIÓN				FASE DE ABANDONO	
			Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico	Descarga de fondo y vertimiento de exceso	Descarga de aguas turbinadas	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador	Demolición de infraestructura	Elementos y estructuras abandonados
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad						
		Movimientos en masa						
		Aumento en la meteorización						
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos						
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas						
		Socavamiento de superficies						
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico						
		Inundaciones						
		Incendio						
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual						
		Cambio en el uso del suelo						
	GEOTECNIA	Inestabilidad						
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos						
		Cambio en la longitud de drenajes						
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales						

Posterior a la identificación de los impactos ambientales, se procede al cálculo de la importancia ambiental del impacto en función de la calidad ambiental sin y con medidas de manejo, $I_{(CA)N}$ e $I_{NETO(N)}$, respectivamente. Para el cálculo de la importancia ambiental, se realizaron 22 matrices (ver Anexo 11), en las que se evalúa el impacto ambiental en función de 6 variables sin medidas de manejo como, extensión (EX), sinergia (SI), intensidad (IN), reversibilidad (RV), acumulación (AC) y periodicidad (PR).

Además, 2 variables adicionales para la evaluación con medidas de manejo que son, tiempo de recuperación (TR) y efectividad (E). Como ejemplo se muestra la Tabla 12.4. que muestra la valoración ambiental de los impactos generados por la acción de voladura.

Tabla 12.4. Importancia ambiental del impacto en función de la calidad ambiental, Para la actividad de voladura. Elaboración propia.

IMPACTO AMBIENTAL	Voladura (Dinamita)										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Aumento de la erodabilidad	1	2	7	7	2	5	3	5	83.33	0.33	55.56
Movimientos en masa	1	2	7	7	2	1	5	10	66.67	0.67	22.22
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0.00	83.33
Pérdida de potencial agrológico	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0.00	83.33
Incendios	1	2	7	7	2	1	5	10	66.67	0.67	22.22
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0.00	83.33
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0.00	83.33
Inestabilidad	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0.00	83.33
Cambio en la longitud de drenajes	1	2	7	3	2	5	7	15	66.67	1.00	0.00

13 Resultados

- A partir de la Tabla 12.2, se muestra que las causas naturales que generan una mayor cantidad de impactos son las altas precipitaciones, los procesos de escorrentía y las altas pendientes del terreno. Los impactos que se generan, son la pérdida de unidades del suelo, cambios en el uso del suelo, pérdida de potencial agrológico, movimientos en masa, aumento de la erodabilidad, entre otros. Al ya haber existencia de estos impactos sin la construcción del proyecto, se debe hacer un monitoreo que determine qué tanto aumenta la intensidad de estos impactos que se vienen presentando normalmente con la construcción y operación del proyecto; sin embargo, es claro que se presentan impactos ambientales incluso sin la construcción del PHM.
- Las actividades socioeconómicas como las actividades pecuarias y agrícolas, la deforestación y la tala de árboles, son las acciones que más impactos generan en el medio ambiente al día de hoy. Los impactos que más resaltan en el área son la pérdida agrológica, el cambio en el uso del suelo, el cambio en la calidad visual, inestabilidad de taludes, movimientos en masa y el riesgo por incendios.
- Los impactos que se repiten en menor medida son el cambio en niveles freáticos y la adición de material superficial por causas naturales y antrópicas.
- Los factores ambientales que más son afectados por las actividades antrópicas son el suelo y el paisaje.

- En la zona de área de influencia del proyecto sí se presentan impactos ambientales sin la presencia del Proyecto Hidroeléctrico y, por lo tanto, es necesaria la presencia de una Corporación Autónoma Regional que ayude a frenar las actividades de deforestación, tala de árboles y actividades económicas que no tengan las herramientas necesarias para generar el menor impacto posible en el medio ambiente.
- En la Tabla 13.1 y su continuación en la Tabla 13.2, se observa que el principal impacto que se genera es el impacto al paisaje en cuanto a calidad visual y el cambio en el uso del suelo debido a la cantidad de procesos de construcción que deben realizarse en la zona. Estos impactos son los impactos de mayor importancia ambiental dentro de las tres fases del proyecto y han sido catalogados como impactos que deben ser compensados, debido a que no hay medidas de manejo que permitan disminuir su nivel de afectación por las acciones del proyecto.
- Dentro de la fase de construcción, la actividad que más impactos genera, es la voladura, debido a que genera riesgos por incendio, aumento en la inestabilidad, aumento de movimientos en masa, pérdida en la longitud de drenajes, cambio en la calidad visual, cambio en el uso del suelo, pérdida de potencial agrológico y pérdida de unidades geológicas y geomorfológicas. (ver Tabla 13.2)
- Las siguientes tablas son el resumen de los resultados de las 22 matrices que se realizaron para las 3 etapas del proyecto en 2 escenarios, uno en el que no se aplican medidas de manejo y otro escenario donde sí se aplican las medidas de manejo: Tabla 13.1, Tabla 13.2, Tabla 13.3, Tabla 13.4, Tabla 13.5, Tabla 13.6. Además, la Tabla 13.7 muestra los resultados del $I_{(CA)N}$ y la Tabla 13.8 muestra los resultados del $I_{NETO(N)}$.

Tabla 13.1 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, sin medidas de manejo. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN								
			Transporte de equipos y materiales de construcción	Construcción de instalaciones provisionales (talleres, campamentos, estación de gasolina, etc...)	Construcción de pozo séptico	Instalación de planta de potabilización	Remoción de vegetación y descapote	Rehabilitación y construcción de vías	Instalación de plantas de trituración y concreto	Excavación para la captación	
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad									
		Movimientos en masa									
		Aumento en la meteorización									
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos									
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas									
	SUELOS	Socavamiento de superficies									
		Pérdida de potencial agrológico									
		Inundaciones									
		Incendio									
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual									
		Cambio en el uso del suelo									
	GEOTECNIA	Inestabilidad									
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos									
		Cambio en la longitud de drenajes									
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales									

Tabla 13.2 Continuación de la Tabla 13.1, calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, sin medidas de manejo. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN						
			Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria	Construcción de la desviación del río	Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre	Construcción del pozo vertical	Tubería de conducción	Obras de estabilidad en las laderas	Voladura (Dinamita)
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad							
		Movimientos en masa							
		Aumento en la meteorización							
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos							
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas							
		Socavamiento de superficies							
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico							
		Inundaciones							
		Incendio							
		Modificación de la calidad visual							
	PAISAJE	Cambio en el uso del suelo							
		Inestabilidad							
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos							
		Cambio en la longitud de drenajes							
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales							

- En la fase de operación se generan los mayores impactos al hacer las descargas al río ya sea por aguas turbinadas, por descargas de sedimentos o por excesos, puesto que ocurre un aumento de los sedimentos y, por ende, aumenta el socavamiento en la superficie del río, aumenta el impacto en la calidad visual, se crean barras artificiales de material, aumenta la sobrecarga en el río y aumenta el riesgo por avenidas torrenciales. (ver Tabla 13.3)
- De la misma manera como ocurre en las fases anteriores, el impacto que más se repite, es el impacto en la calidad visual, pues este se genera con la mayoría de las actividades generadas dentro del PHM.
- Cabe destacar, que en la fase de abandono existen dos impactos positivos como son la reconstrucción morfológica y la recuperación del régimen natural del río.
- La demolición de infraestructura genera los mayores impactos dentro de la fase de abandono, debido al proceso especializado que debe realizarse para esta actividad. (ver Tabla 13.3)

Tabla 13.3 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de operación y abandono, sin medidas de manejo. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE OPERACIÓN				FASE DE ABANDONO	
			Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico	Descarga de fondo y vertimiento de exceso	Descarga de aguas turbinadas	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador	Demolición de infraestructura	Elementos y estructuras abandonados
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad						
		Movimientos en masa						
		Aumento en la meteorización						
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos						
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas						
	SUELOS	Socavamiento de superficies						
		Pérdida de potencial agrológico						
		Inundaciones						
		Incendio						
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual						
		Cambio en el uso del suelo						
	GEOTECNIA	Inestabilidad						
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos						
		Cambio en la longitud de drenajes						
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales						

- En las Tabla 13.4 y Tabla 13.5 se describe la calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, con medidas de manejo. De las cuales puede inferirse que los impactos de modificación en la calidad visual y cambio en el uso del suelo, persisten en su calificación de impactos severos, por lo tanto, deben aplicarse medidas de compensación puesto que no hay otra medida que pueda disminuir su nivel de afectación. De esta misma manera, el factor ambiental más afectado en la fase de construcción es el de Paisaje.
- El factor ambiental que se ve menos afectado en la fase de construcción al aplicar las medidas de manejo es Geología, debido a que se ha logrado establecer un plan de manejo que disminuya la afectación del factor o la incidencia de los impactos.
- La voladura es la actividad que mayor impacto genera y que aún con medidas de manejo genera 5 impactos críticos que son la pérdida del potencial agrológico, modificación de la calidad visual, cambio en el uso del suelo, pérdida de unidades geomorfológicas y aumento en la inestabilidad. Por lo tanto, el factor ambiental más afectado es el factor Paisaje y Suelo.
- De acuerdo con la Tabla 13.4 y la Tabla 13.5, el factor ambiental que menos se afecta es el factor de fuentes hídricas al aplicar las medidas de manejo, por lo que se prevé que aplicando medidas de prevención, si los drenajes son correctamente re encausados, puede haber un correcto funcionamiento en su dinámica.
- El riesgo por incendio se logra disminuir desde severo hasta irrelevante al aplicar las medidas de manejo, puesto que, al realizar un plan de prevención, su probabilidad de ocurrencia disminuye notablemente.

Tabla 13.4 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, con medidas de manejo. Elaboración propia.

COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN						
		Transporte de equipos y materiales de construcción	Construcción de instalaciones provisionales (talleres, campamentos, estación de gasolina, etc...)	Construcción de pozo séptico	Instalación de planta de potabilización	Remoción de vegetación y descapote	Rehabilitación y construcción de vías	Instalación de plantas de trituración y concreto
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad							
	Movimientos en masa							
	Aumento en la meteorización							
	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos							
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas							
SUELOS	Socavamiento de superficies							
	Pérdida de potencial agrológico							
	Inundaciones							
	Incendio							
PAISAJE	Modificación de la calidad visual							
	Cambio en el uso del suelo							
GEOTECNIA	Inestabilidad							
FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos							
	Cambio en la longitud de drenajes							
	Aumento de riesgo por avenidas torrenciales							

Tabla 13.5 Continuación de la Tabla 13.4, calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de construcción, con medidas de manejo. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN						
			Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria	Construcción de la desviación del río	Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre	Construcción del pozo vertical	Tubería de conducción	Obras de estabilización en las laderas	Voladura (Dinamita)
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad							
		Movimientos en masa							
		Aumento en la meteorización							
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos							
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas							
		Socavamiento de superficies							
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico							
		Inundaciones							
		Incendio							
		Incendio							
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual							
		Cambio en el uso del suelo							
	GEOTECNIA	Inestabilidad							
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos							
		Cambio en la longitud de drenajes							
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales							

→ Según la Tabla 13.6, se producirán 2 impactos críticos en la etapa de abandono en el factor ambiental del paisaje, debido a la modificación de la calidad visual y el cambio en el uso del suelo, aun incluyendo las medidas de manejo. Este resultado se debe a que no todas las instalaciones que se construirán en el proyecto van a ser removidas y por lo tanto el cambio en

el uso del suelo y la calidad es permanente y por ende deben aplicarse medidas de compensación.

- La actividad que menos impactos genera en la fase de operación y con medidas de manejo es la captación de agua para la generación de energía y vertimiento del caudal ecológico (Tabla 13.6)
- El factor que menos se afecta por las actividades en fase de operación y abandono, es el factor ambiental de geomorfología, debido a que no se genera el impacto de pérdidas de unidades geomorfológicas (Ver Tabla 13.6).

Tabla 13.6 Calificación del impacto ambiental en función de la calidad ambiental para el PHM, en la fase de operación y abandono, con medidas de manejo. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE OPERACIÓN				FASE DE ABANDONO	
			Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico	Descarga de fondo y vertimiento de exceso	Descarga de aguas turbinadas	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador	Demolición de infraestructura	Elementos y estructuras abandonados
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad						
		Movimientos en masa						
		Aumento en la meteorización						
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos						
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas						
		Socavamiento de superficies						
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico						
		Inundaciones						
		Incendio						
		Modificación de la calidad visual						
	PAISAJE	Cambio en el uso del suelo						
		Inestabilidad						
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos						
		Cambio en la longitud de drenajes						
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales						

- Finalmente, al realizar la Tabla 13.7 y la Tabla 13.8, se muestra el total de impactos generados en las tres fases del proyecto, en las cuales, en la primer tabla no se aplican las medidas de manejo y en la segunda tabla sí (respectivamente).
- El mayor número de impactos está en la valoración como crítico, esto es debido a que las actividades generadas por el PHM, son actividades de alta importancia ambiental y, por lo tanto, se arroja el resultado de 62 impactos ambientales críticos siendo este valor, el 50.4 % del total

de los 123 impactos. Al sumar el porcentaje entre impactos críticos y severos se obtiene un valor del 91.9% del total de los 123 impactos (ver Tabla 13.7).

Tabla 13.7 Número de impactos totales generados por el PHM, para cada valoración, sin aplicar medidas de manejo. Elaboración propia.

Calificación del impacto	Valoración	Número de impactos	%
≤25	Irrelevante	1	0.8
>25<50	Moderado	9	7.3
≥50 <76	Severo	51	41.5
≥75	Crítico	62	50.4
TOTAL		123	100

→ Por el contrario, se resalta la disminución de los impactos ambientales en la valoración de críticos y severos, y que, aplicando las medidas de manejo, se distribuyen entre la valoración de irrelevante y moderado, sumando entre estos dos el 54.4 % del total de los 123 impactos y el 45,5% está distribuido entre la valoración de severos y críticos. (ver Tabla 13.8); mientras que, en la Tabla 13.7, los impactos se encuentran distribuidos entre críticos y severos sumando 113 impactos, dejando solo 10 impactos entre las categorías de irrelevante y moderado. En conclusión, las medidas de manejo, logran disminuir el porcentaje de impactos severos y críticos en un 45.9%.

Tabla 13.8 Número de impactos totales generados por el PHM, para cada valoración, con aplicación de medidas de manejo. Elaboración propia.

Calificación del impacto	Valoración	Número de impactos	%
≤25	Irrelevante	49	39.8
>25<50	Moderado	18	14.6
≥50 <76	Severo	15	12.2
≥75	Crítico	41	33.3
TOTAL		123	100

→ A continuación, en la Figura 13.1, se presenta un diagrama de comparación entre los cambios que se generan en los impactos ambientales al aplicar medidas de manejo ambiental, para establecer si realmente las medidas de manejo son eficaces o no. Como se dijo anteriormente, las medidas de manejo, logran disminuir el porcentaje de impactos severos y críticos en un 45.9% y es posible verse en el diagrama, el color naranja indica la no aplicación de medidas de

manejo y el color azul indica la aplicación de las medidas de manejo. Se observa que el color naranja está distribuido en su mayor parte hacia la valoración de críticos y severos, mientras que el color azul está mayormente distribuido hacia irrelevantes y moderados.

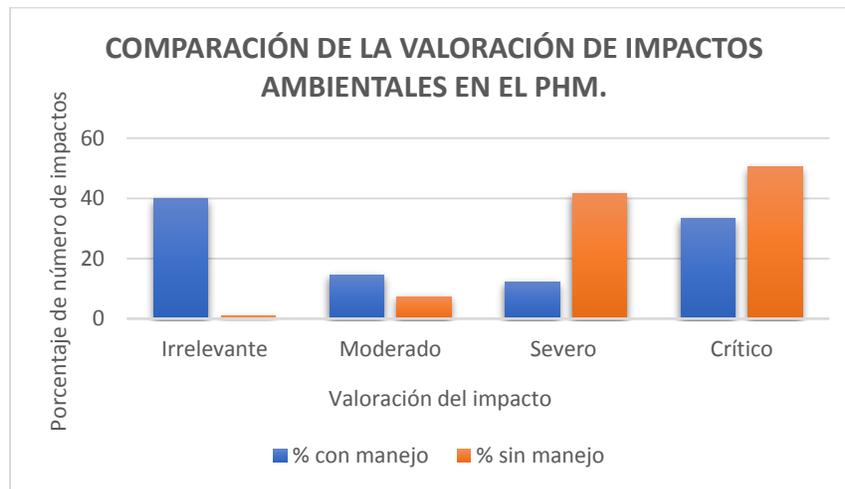


Figura 13.1 Comparación de la valoración de los impactos ambientales con y sin medidas de manejo en el área de influencia del PHM. Elaboración propia.

- Al hablar de las medidas de manejo, es necesario establecer qué tipo de medidas son y de esta manera se realiza la jerarquización de los impactos al saber qué tipo de medida se debe utilizar para disminuir su nivel de afectación, por lo tanto, se realizaron tres tablas resumen donde se jerarquizan los impactos (ver Tabla 13.9, Tabla 13.10 y Tabla 13.11)
- En la fase de construcción, en la Tabla 13.9 y Tabla 13.10, el factor ambiental que no puede ser corregido, mitigado o prevenido, es el factor ambiental del paisaje, por lo tanto los impactos que allí se generan por las actividades de construcción, deben ser medidas enfocadas en la compensación de los impactos generados. Nuevamente, la acción en la que la mayoría de impactos se ubican entre compensables y mitigables es la actividad de voladura, por lo tanto, se reitera que es la actividad de mayor impacto en la fase de construcción. Es de resaltar, que al haber impactos que puedan ser mitigables, siempre quedará un efecto residual, es decir, que no podrá ser corregido en su 100% y este efecto debe ser valorado económicamente.
- En la Tabla 13.9 y la Tabla 13.10, en la fase de construcción el impacto que más se repite es el impacto por riesgo de incendio, pero a diferencia de los impactos en el paisaje, el riesgo por incendio sí puede ser prevenible, por lo tanto, en las tablas anteriores no se ha categorizado como crítico al aplicar las medidas de manejo de prevención, puesto que se espera que no se dé el impacto.

Tabla 13.9 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de construcción. Elaboración propia.

M E D I O	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	Importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el proyecto con medidas de manejo ambiental							
			FASE DE CONSTRUCCIÓN							
			Transporte de equipos y materiales de construcción	Construcción de instalaciones provisionales (talleres, campamentos, estación de gasolina, etc...)	Construcción de pozo séptico	Instalación de planta de potabilización	Remoción de vegetación y descapote	Rehabilitación y construcción de vías	Instalación de plantas de trituración y concreto	Obras de estabilidad en las laderas
F Í S I C O	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	Corregible	Corregible			Corregible	Corregible		
		Movimientos en masa	Corregible	Corregible			Corregible	Corregible	Corregible	
		Aumento en la meteorización					Corregible			
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos								
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas		Compensable	Compensable		Compensable	Compensable		
	SUELOS	Socavamiento de superficies	Corregible				Corregible			
		Pérdida de potencial agrológico		Compensable	Compensable		Compensable	Compensable	Compensable	Compensable
		Inundaciones								
	PAISAJE	Incendio	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible	
		Modificación de la calidad visual	Compensable	Compensable		Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable
	GEOECNIA	Cambio en el uso del suelo		Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable		Compensable
		Inestabilidad	Corregible	Corregible			Corregible	Corregible		
FUENTES HIDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos									
	Cambio en la longitud de drenajes		Corregible			Corregible	Corregible			
	Aumento de riesgo por avenidas torrenciales									

Tabla 13.10 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de construcción. Continuación de la Tabla 13.9. Elaboración propia.

M E D I O	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN							
			Excavación para la captación	Excavación para la conducción y casa de maquinas	Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria	Construcción de la desviación del río	Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre	Construcción del pozo vertical	Tubería de conducción	Voladura (Dinamita)
F I S I C O	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	Corregible	Mitigable			Mitigable	Corregible		Mitigable
		Movimientos en masa		Corregible			Corregible	Prevenible	Prevenible	Mitigable
		Aumento en la meteorización								
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos								
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	Compensable	Compensable		Compensable	Compensable	Compensable		Compensable
	SUELOS	Socavamiento de superficies								
		Pérdida de potencial agrológico			Compensable			Compensable		Compensable
		Inundaciones						Prevenible		
		Incendio	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible	Prevenible			Prevenible
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual	Compensable	Compensable			Compensable	Compensable	Compensable	Compensable
		Cambio en el uso del suelo	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable
	GEOTECNIA	Inestabilidad	Corregible	Compensable			Compensable	Compensable		Compensable
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos								
Cambio en la longitud de drenajes		Corregible	Corregible			Corregible			Mitigable	
Aumento de riesgo por avenidas torrenciales										

→ En la Tabla 13.11, está representada la jerarquización de los impactos que se generan en la fase de operación y abandono del PHM, en la cual solo 2 impactos resultan como mitigables y son los relacionados con la calidad visual y el aumento en la erodabilidad, debido a lo anterior, es necesario realizar un inventario de los efectos residuales generados por estos impactos y por ende, una valoración económica que logre compensar aquellos efectos.

→ Dentro de la categoría de compensables, 6 impactos se jerarquizan allí y por lo tanto no existe ninguna medida de manejo que pueda lograr la disminución en su nivel de afectación. Los impactos que se categorizan como compensables son la calidad en la modificación visual y el

cambio en el uso del suelo y se generan por todas las actividades descritas en la fase de operación y abandono.

Tabla 13.11 Jerarquización de los impactos respecto a la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el PHM, con medidas de manejo, en la fase de operación y abandono. Elaboración propia.

M E D I O	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	Importancia del impacto en función de la calidad ambiental para el proyecto con medidas de manejo ambiental					
			FASE DE OPERACIÓN				FASE DE ABANDONO	
			Contaminación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico	Descarga de fondo y vertimiento de exceso	Descarga de aguas turbinadas	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador	Demolición de infraestructura	Elementos y estructuras abandonados
F I S I C O	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad						Mitigable
		Movimientos en masa					Prevenible	
		Aumento en la meteorización						
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	Corregible	Corregible	Corregible	Corregible	Corregible	
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas						
		Socavamiento de superficies		Corregible	Corregible	Corregible		
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico						
		Inundaciones	Prevenible					
		Incendio					Prevenible	
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual	Compensable	Compensable	Compensable	Compensable	Prevenible	Compensable
		Cambio en el uso del suelo					Compensable	Mitigable
	GEOTECNIA	Inestabilidad					Corregible	
FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos							
	Cambio en la longitud de drenajes					Corregible		
		Aumento de riesgo por avenidas torrenciales	Corregible	Corregible	Corregible			

- En la Tabla 13.12, se muestra el resumen del número total de impactos que se distribuyen en las categorías de prevenibles, corregibles, mitigables y compensables. Se encontraron 60 impactos que pueden ser prevenidos o corregidos, es decir, el 48.7% de los impactos no generan efectos residuales o no se generan en lo absoluto.
- El 5.7% de los impactos son mitigables y por esta razón deben crearse las valoraciones económicas para compensar aquellos efectos que quedan en el medio ambiente. Estos impactos se jerarquizaron de esta manera debido a que es muy difícil que mediante medidas de manejo su afectación no exista, por lo tanto, lo que se busca es que cuando se dé no genere muchos más impactos o en una intensidad mayor (Tabla 13.12)
- El 45.5% de los impactos son compensables y son en su mayoría, los referidos al factor ambiental de paisaje al haber modificación de la calidad ambiental y los cambios en el uso del suelo, por lo tanto, no existe medida de manejo que pueda evitar su afectación.

Tabla 13.12 Número total de impactos jerarquizados dentro de las 4 categorías de prevención, corrección, mitigación y compensación. Elaboración propia.

Número de impactos	Porcentaje	Jerarquización
20	16.2%	Prevenibles
40	32.5%	Corregibles
7	5.7%	Mitigables
56	45.5%	Compensables
Total= 123		

14 Conclusiones

- Se logró determinar la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo a movimientos en masa e inundaciones en el AID del PHM
- La susceptibilidad a movimientos en masa, está condicionada principalmente por la cobertura de la zona y el tipo de unidad geomorfológica y geológica.
- Las zonas de mayor susceptibilidad a inundaciones, son aquellas en las que el terreno es plano como el valle del río Guarinó, mientras que aquellas que están conformadas por laderas y se encuentran alejadas del río son las menos susceptibles a inundaciones superficiales. La amenaza a movimientos en masa es baja en zonas donde la cobertura es de bosques y además, precipitaciones anuales máximas son de 2700 a 2900 mm por año.
- Dentro del área estudiada no se encontraron zonas con amenaza alta por movimientos en masa.
- La amenaza a inundaciones se da en las zonas cerca de los valles, principalmente en el trayecto del río Guarinó.
- La vulnerabilidad a movimientos en masa está sujeta a la ubicación frente a la ladera, y al tipo de infraestructura.
- La vulnerabilidad a inundaciones está dada en las instalaciones que están proyectadas para construirse en las zonas de captación y descarga, debido a su cercanía al río.
- La mayor predominancia en la zona directa del PHM a la probabilidad de ocurrencia para los eventos de movimientos en masa es de categorización media. Las precipitaciones son de 2800 a 3000 mm por año, zonas se caracterizan por coberturas de áreas arbustivas, de agricultura y prados.
- Las zonas críticas a la eventualidad de movimientos en masa son la zona de captación hacia la zona oriental, la descarga al río y las vías hacia la zona de descarga.

- Las áreas de captación y desarenador, vías a la zona de captación, son zonas con categorización de riesgo alto a movimientos en masa, por ello, requieren intervención a los taludes, en búsqueda del monitoreo y estabilización de la zona, para evitar daños a futuro.
- Las áreas de mayor riesgo para inundaciones son las áreas donde las instalaciones se encuentran en las orillas del río Guarinó como las zonas de captación y descarga al río Guarinó. Por lo tanto, se logró la construcción de un modelo de evaluación del riesgo para el PHM.
- No se evaluó el riesgo o vulnerabilidad por inundaciones y movimientos en masa en las instalaciones debido a que serán construidas de manera subterránea y no puede estudiarse el riesgo por inundaciones y movimientos en masa en superficiales.
- Se determinaron 123 impactos ambientales potenciales generados por el PHM, en el área de influencia directa. Y se calculó la importancia ambiental de los 123 impactos ambientales encontrados en este estudio.
- Se analizó que el área de afectación al paisaje es de 3.5 Km², es decir el 25 % del AID. A pesar de que la extensión del impacto al paisaje causada por el proyecto, es baja; la jerarquización del impacto es de compensable y no hay manera de disminuir su nivel de afectación, por ende, es el impacto más importante dentro del proyecto.
- Se determina que los impactos ambientales que son mitigables dejan un efecto residual en el medio ambiente, debido a que la eficacia de la medida de manejo no es 100 %, por lo tanto, este efecto debe ser convertido en valoración económica ambiental para compensar a la comunidad sobre estos impactos, es pertinente acudir a un principio de precaución.
- Para los impactos jerarquizados como compensables se debe realizar una valoración económica ambiental puesto que no existe una medida de manejo que evite o disminuya estos impactos, es pertinente acudir a un principio de precaución.
- Se evidencia la importancia de evaluar los impactos con medidas de manejo, puesto que las medidas disminuyen hasta alrededor del 50 % la afectación en los factores ambientales.
- Se determina que no es posible la evaluación de las instalaciones subterráneas, como es el caso del túnel de conducción, ya que no se tienen los estudios geotécnicos de las rocas, puesto que las características geomecánicas son las que determinan realmente la estabilidad dentro de la zona del túnel, de esta manera, tanto los estudios como los diseños del túnel son estrictamente necesarios para determinar la viabilidad de su construcción, es pertinente acudir a un principio de precaución.
- El Proyecto Hidroeléctrico Montebonito, debe hacer estudios más detallados de diseño de infraestructura, análisis del riesgo y una evaluación de impactos más objetiva, que le asegure a la comunidad del corregimiento de Montebonito, que el proyecto se construye de manera responsable y amigable ambientalmente. Gracias a que existe una falta de información técnica sobre el PHM, se encuentra que en las condiciones en las que están expuestas el proyecto no se considera viable la construcción del mismo.

15 Recomendaciones

15.1 Generales

- Es pertinente la utilización de la metodología de Prada, 2010, frente otras metodologías propuestas para la evaluación de impactos, debido a que, utilizar solo 6 variables del cálculo de importancia ambiental, sin incluir momento y efecto, ya que cuando se evalúa el efecto, este determina que la importancia de un impacto indirecto es menor a un impacto directo; sin embargo, Prada, 2010, explica que cada impacto independiente de su naturaleza, si proviene o no de algún otro, debe ser evaluado para disminuir toda incertidumbre.
- Se recomienda que, en el PHM, se realice un buen estudio de gestión del riesgo debido a que como se presenta en este estudio, existen posibilidades de daño a las construcciones o en la etapa de operación y por ello se deben crear diseños que eviten accidentes de los operarios o daños en la infraestructura, tanto por eventos de movimientos en masa como inundaciones.
- La pérdida de unidades geológicas y geomorfológicas debe ser incluidas en las evaluaciones de impactos para cualquier tipo de proyecto, ya que puede generar una pérdida en la estabilidad de la zona gracias a que todo el medio ambiente está en equilibrio, inclusive las rocas y hasta su pérdida debe ser valorada.
- Se requiere un diseño geotécnico del túnel de conducción, puesto que solo se tiene el trazo del mismo, pero es necesario conocer todas las condiciones de las rocas que allí se encuentran como plasticidad, cohesión de la roca, etc. Sin este diseño es imposible proceder con la construcción del túnel.
- Al realizar las medidas mitigables queda un efecto residual que se genera cuando el impacto después de aplicarse la medida aún genera daños en el ecosistema, es por ello, que debe realizarse una valoración económica ambiental, en donde esos efectos residuales se reparen económicamente a la sociedad.

15.2 Medidas de prevención

Inundaciones y erosión en la zona de captación y desarenador

- Se colocarán estructuras de disipación de energía con la intención de controlar la erosión del cauce e inundación de los márgenes del río.(Electro Oriente, 2009)
- El diseño final de las estructuras, en las obras de captación y desarenador, tendrá que adecuarse a la forma del terreno y paisaje natural, con la finalidad de lograr un escenario concordante al entorno. (Electro Oriente, 2009)
- El sistema estará asociado a la medición de caudal en los canales del desarenador que controlarán las compuertas de la bocatoma, asegurando que en ningún caso pueda captarse más de lo debido.(Electro Oriente, 2009)

Avenidas torrenciales

- Se construirán dispositivos que permitan el pase normal del caudal excedente en época de avenida y mantener el caudal ecológico en tiempo de sequía. (Electro Oriente, 2009)

Incendios

- En caso tal que se genere un derrame de productos químicos, aceites o combustibles, el personal responsable de la ejecución de la actividad que produjo el derrame, deberá delimitar el área con cordones absorbentes, arena o aserrín, a fin de detener el fluido y evitar contacto con el suelo, drenajes o fuentes que puedan ocasionar incendios. (Desarrollos energéticos de oriente., 2018) Estos fluidos pueden provenir de cualquier tipo de actividad ya sea de transporte, construcción, voladura, entre otros... Al evitar los riesgos por incendio se están evitando impactos indirectos que pueden generarse a partir de este como los cambios en el uso del suelo, la pérdida del potencial agrológico, la modificación de la calidad visual, etc.
- Estricto cumplimiento de medidas de seguridad, relacionado con combustibles. (Electro Oriente, 2009)
- Instalación de sistemas automáticos de protección contra incendios y protecciones pasivas tipo “fire stop”.

Actividad de voladura

- Se debe realizar un transporte y almacenamiento adecuado de la voladura para evitar accidentes y el desencadenamiento de otros impactos como la contaminación en el suelo y la pérdida del potencial agrológico y debe estar correctamente controlado según la normativa.
- Se deberá seguir la normativa de acuerdo a las vibraciones emitidas por la voladura para no sobrepasar los límites de sismicidad permitidos.
- Buscar preservar la seguridad y la tranquilidad de todas las comunidades vecinas, manteniendo controladas las explosiones que se deben realizar durante la ejecución del Proyecto, de tal forma que no se registren accidentes ni molestias a los vecinos, tomando acciones como: informar anticipadamente la actividad, hacer sonar una alarma antes de cada explosión; tomar las medidas necesarias para evitar que los fragmentos producto de las voladuras, puedan ocasionar

daños; realizar el inventario detallado de la existencia de viviendas cercanas a los sitios donde se realicen las voladuras; y contar con el personal calificado en este procedimiento (Enel, 2018).

- Realizar el trámite adecuado de suministro de voladura.
- Se deberá seguir la normativa de acuerdo a las vibraciones emitidas por la voladura para no sobrepasar los límites de sismicidad permitidos.

15.3 Medidas de corrección

Aumento de la erodabilidad

- Para la determinación de los índices de erodabilidad, por precisión y costos, se deben determinar las variables comprendidas entre los primeros 0 a 10 cm, ya que hacerlo a profundidades mayores, no aportaría resultados importantes en relación con la erodabilidad de los suelos, situación contraria, sería si se tratara de determinar la susceptibilidad o resistencia de los suelos a los movimientos en masa. (Rivera-Posada et al., 2010)
- Revegetalización de taludes para disminuir la tasa de erosión.
- Restaurar las zonas intervenidas mediante la revegetalización con material vegetal que brinde una cobertura que proteja el suelo de procesos erosivos.

Estabilidad de taludes

- En general, se hará su reconfiguración retirando los bloques más sueltos y desarrollando taludes con pendientes que dependerán del tipo de material presente y se construirán bermas cuando los taludes sobrepasen alturas que comprometan la estabilidad de la obra.
- En algunos casos podrá ser necesaria la construcción de estructuras de retención, como muros de acompañamiento de la banca o muros de gaviones en las patas de los taludes. En taludes con pendientes mayores que 45°, y donde no se identifiquen vaguadas ni quebradas cercanas, será necesario construir brechas de dispersión de flujo, las cuales evitan concentraciones del flujo en la descarga (Astudillo, 2011).
- Implantar acciones tendientes a conservar la estabilidad geotécnica en taludes de vías, obras y terrenos durante la construcción y operación del proyecto. (Astudillo, 2011)
- Los vehículos deberán someterse a las dimensiones y pesos, incluida carrocería y accesorios, que para tal efecto determine el Ministerio de Transporte, para lo cual debe tener en cuenta la normatividad técnica nacional e internacional. (Artículo 29 de la Ley 769 de 2002). (Astudillo, 2011)
- Ante la probable generación de derrumbes de taludes se deberá hacer una adecuada estabilidad física o colocar un tipo de protección que evite que los deslizamientos que impacten negativamente al ambiente o pueda ocasionar daño por el peso y la inestabilidad que genera la construcción de las tuberías.

- Los efectos generados por el transporte de equipos de construcción y materiales de construcción pueden ser prevenibles si se realiza un monitoreo constante de la zona y no recargando de más los vehículos que puedan generar sobrecarga en el terreno y sismos por las vibraciones de los mismos que sobrepasen los estándares permitidos.
- Minimizar los riesgos ambientales y desestabilización de los taludes mediante cortes y bermas definidas en los diseños de estas zonas.

Cambio en la longitud de drenajes

- En el momento en el que la instalación de obras y maquinarias se realiza, los drenajes deberán ser reencausados para evitar al máximo la disminución en su longitud y evitar que zonas aledañas que aprovechan su recurso hídrico no se vean afectadas por las actividades de construcción y operación.
- Cuando se realicen obras de rehabilitación y construcción de vías, se deben reencausar los drenajes para que no se dañen las vías y no se dañe la dinámica hídrica del cauce.

Cruce de aguas

- En las obras cercanas a cuerpos de agua se deben tomar las medidas necesarias para la protección y aislamiento de dichas corrientes, con el objeto de evitar el aporte de materiales.(Desarrollos energéticos de oriente, 2018).
- Supervisar en forma permanente durante la construcción de las obras, los cruces de quebradas y/o ríos con la vía para detectar la contaminación producto del aporte de residuos sólidos, grasas o aceites, y adoptar las medidas necesarias para la mitigación de los respectivos impactos (medición semanal de parámetros in situ).

Socavamiento de superficies

- Realizar rehabilitación de vías periódicamente para evitar al máximo el socavamiento de superficies.

15.4 Medidas de mitigación

Mitigación de impactos por voladura

- No generar explosiones que no sean estrictamente necesarias dentro del plan de manejo de voladuras, si bien se generarán los impactos de aumento de inestabilidad, cambios en el uso del suelo, pérdida de unidades geológicas y geomorfológicas, es primordial generar el menor impacto.

Remoción de suelo o descapote

- Deberán evitarse las acciones que sean innecesarias como excavaciones, para permitir remover la menor cantidad de suelo y descapote, puesto que sería un impacto negativo para la flora, la fauna y la calidad visual.

Calidad visual

- Como se hará vertimiento de materiales y de agua desde el desarenador, el desgravador y las descargas de fondo, se deberá remover este material periódicamente para no generar barras del río antrópicas que pueda dañar la dinámica del cauce, para evitar al máximo: socavamiento de superficies, riesgo de avenidas torrenciales y pueda aumentar la calidad visual.

15.5 Medidas de compensación

Cambio en el uso del suelo

- En las zonas en las que se dio un cambio en el uso del suelo gracias a la construcción de diferentes instalaciones, se puede compensar a la comunidad dejando los lugares como talleres y campamentos como edificaciones para convertir como áreas de entretenimiento y esparcimiento social, áreas hospitalarias o de educación.

Cambio de la estabilidad del terreno, Cambio en el uso del suelo, Cambio de la calidad visual del paisaje. Pérdida material geomorfológico. Pérdida de potencial agrologico.

- Remoción del suelo sin mezclar horizontes y almacenar el suelo con todas las condiciones para su conservación.
- Selección adecuadamente las especies de vegetación para la estabilidad, con la que se realizara la vegetación.
- Revegetalizar el estrato superior de suelo en el 100% de los tramos en el cual se lleve a cabo la recomendación. (Astudillo, 2011)
- La remoción de la vegetación, el descapote y las excavaciones superficiales exponen el suelo a la acción de factores erosivos; bajo estas condiciones se presentan diferentes procesos que conducen a la pérdida del suelo, el arrastre de sedimentos a corrientes de agua y el lavado de nutrientes.
- Abastecimiento de combustibles dentro de la obra para el abastecimiento de combustible en la obra, se dispondrá un carro cisterna que recorra los frentes de obra y suministre el combustible a cada equipo. El vehículo estará dotado con los dispositivos para el control de posibles derrames durante el suministro, tal como kits de control de derrames, los cuales contendrán los elementos necesarios para evitar la contaminación del suelo y debe cumplir con todos los requerimientos de las normas sobre transporte de sustancias peligrosas, en especial las contenidas en el Decreto 1609 de 2002 o aquel que la modifique o sustituya. (Desarrollos energéticos de oriente., 2018)

- Una vez retirada la maquinaria de las obras, por conclusión de los trabajos, se procederá al reacondicionamiento patio de máquina; en el que se incluye la remoción y eliminación de los suelos que pudieran ser contaminados con residuos de combustible y lubricantes (Electro Oriente, 2009).
- Las acciones de abastecimiento de combustible y mantenimiento de maquinaria y equipo, incluyendo el lavado de los vehículos, se llevarán a cabo, únicamente en los lugares especializados. Ningún motivo se deberá realizar en el área de trabajo. (Electro Oriente, 2009).

Actividades de voladura

- No se encuentran medidas de compensación para las pérdidas de unidades geomorfológicas, geológicas, cambios en el uso del suelo, etc. Por lo tanto, es necesario realizar una compensación económica a la comunidad del corregimiento de Montebonito.

16 Anexos

16.1 Anexo mapas

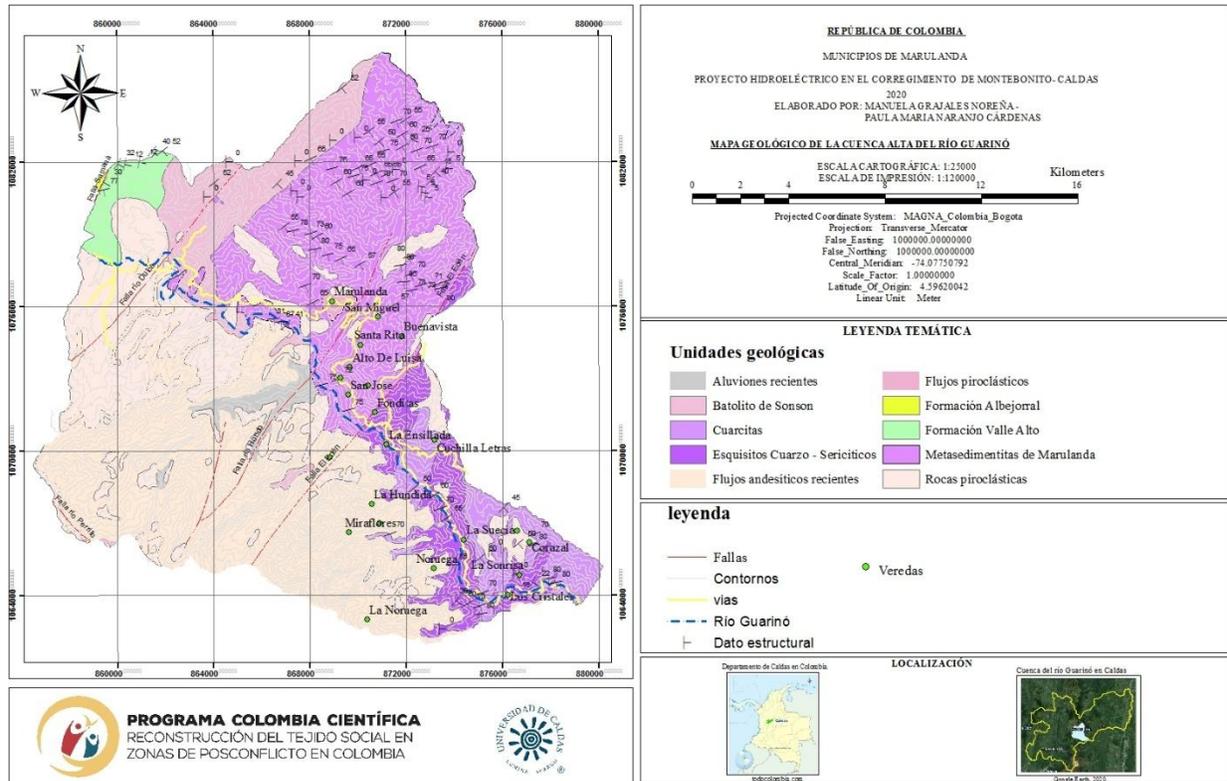


Figura 16.1 Mapa geológico de la cuenca alta del río Guarinó. Elaboración propia.

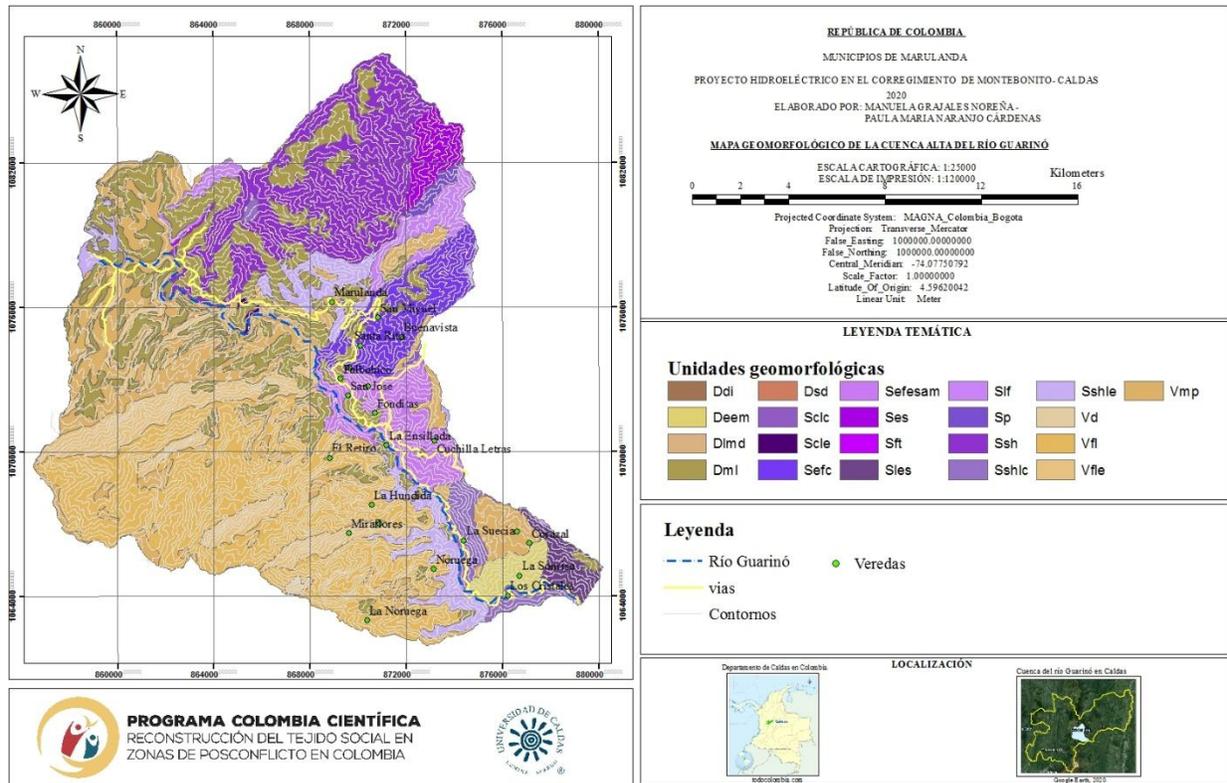


Figura 16.2 Mapa geomorfológico de la cuenca alta del Guarinó. Elaboración propia.

16.2 Anexo salida de campo Montebonito, Caldas, Colombia

A continuación, se describirá lo observado en cada estación realizadas en campo, en la zona de influencia directa de influencia del PHM.

Mapa con estaciones.

16.2.1 Estación: 042

Ubicación: Vereda La Sonrisa

Coordenadas: N 05°10.740' -W 075°10.489'

Altura: 1548 msnm.

Se observa un afloramiento (Anexo 1) con dos paquetes de roca, con diferente resistencia, el paquete de mayor dimensión (25 cm aproximadamente) es más compacto, intercalado con un paquete de roca más delgada (7 cm aproximadamente) y triturado, con mayor foliación.

El contacto entre las rocas es neto, con desclasamientos transversales a la foliación, las diaclasas presentaban espaciamientos entre 1mm a 3mm.

Litología: rocas de color gris oscuro, compuesto por micas, cuarzo y grafito, tamaño de grano fino, con textura esquistosa que fue obliterada por silificación que experimento la roca.

Dirección de la orientación de las diaclasas son: N50W/65NE, N26W/85NE, N48W/80SW, N15W/75SW, N55E/65SE, N55E/65SE.



Anexo 1. Afloramiento de roca estación 042 N 05°10.740'-W 075°10.489'. Autor: Manuela Grajales.

16.2.2 Estación: 043

Coordenadas: N 05°10.786'- W 075°10.461'.

Altura: 1668 msnm.

Litología: El tipo de roca es igual al de la estación 042. Cabe destaca, del afloramiento (Anexo 2) los patrones de diaclasamiento, donde se interceptan las diferentes familias de diaclasas, generando cuñas.

Dirección de la orientación de las diaclasas son: N28W/85NE y S84E/64SW.



Anexo 2. Afloramiento de roca estación 043 N 05°10.786' - W 075°10.461'. Autor: Manuela Grajales.

16.2.3 Estación: 044

Ubicación: la sonrisa

Coordenadas: N 05° 10.857' - W 075 10.394.

Altura: 1689 msnm.

En el Anexo 3 se muestra una la muestra tomada en esta estación, es un esquistos cuarzo sericítico con grafito y andalucita. Cabe resaltar que la estructura esquistosa esta obliterada por silicificación en la roca.



Anexo 3. Muestra tomada en la estación 044. Autor: Paula Maria Naranjo.

16.2.4 Estación: 045

Ubicación: quebrada la Rueda pasa por medio de fincas del PHM.

Coordenadas: N 05° 10.895' - W 075°10.334'.

Altura: 1679 msnm.

Esquisto cuarzo sericítico con grafito y posible presencia de andalucita, silicificada y con venillas de cuarzo (ver Anexo 4).



Anexo 4. Muestra tomada en la estación 045. Autor: Paula Maria Naranjo.

16.2.5 Estación: 046

Ubicación: la sonrisa

Coordenadas: N 05°10.718' - W 075°10.502'.

Altura: 1625 msnm.

En el afloramiento (Anexo 5) se puede observar 3 diferentes tipos de rocas y una Vena de cuarzo con dimensiones de ancho de 6 cm. A continuación, se describe las litologías presentes en el afloramiento, de izquierda a derecha.

1. Esquisto cuarzo sericítico con grafito, incipiente silicificación, textura esquistosa.
2. Metarenisca (?), tamaño de grano medio, color gris claro.
3. Cuarcita, de tamaño de grano fino, granoblástica, gris verdosa.

las Direcciones de la orientación de las diaclasas son: N60W/78SW, S10E/NE, N70W/90, y N29E/85SE.



Anexo 5. Afloramiento de roca estación 046. Autor: Manuela Grajales.

16.2.6 Estación: 051

Ubicación: zona de captación del PHM.

Coordenadas: N 05°10.718' - W 075°12.702'.

Altura: 1855 msnm.

Se observa un depósito de coluvión con morfología de terraza con predominancia de clastos de rocas volcánicas (ver Anexo 6).



Anexo 6. Zona de captación, Proyecto Hidroeléctrico Montebonito N 05°10.718' - W 075°12.702'. Autor: Manuela Grajales.

16.2.7 Estación: 052

Ubicación: zona de captación inicio del túnel de conducción a flujo libre.

Coordenadas: N 05°11.212' - W 075°12.701'.

Altura: 1850 msnm.

En el afloramiento (Anexo 7) se observa diferentes paquetes de roca, donde se observa un comportamiento reológico diferente entre estos paquetes.

Litología: Esquistos cuarzo sericíticos con alternancia de niveles más silíceos, cuarcitas, con una resistencia alta.

La roca se observa con alto diaclasamiento, las direcciones de la orientación de las diaclasas son: N18W/25SW, N78W/68NE, S35W/9NW, N28W/74 SW, N28W/28SW, N38W/75NE, N60W/70SW, N45W/20SW, N10W/75SW, y N80W/80SW.



Anexo 7. Afloramiento de roca, estación 052, margen izquierdo del río aguas abajo N 05°11.212' - W 075°12.701'. Autor: Manuela Grajales.

16.3 Anexo tablas de interacción y identificación del impacto ambiental, con PHM

Anexo 8. Tabla Matriz de interacción entre las acciones antrópicas generadas por el PHM con los factores ambientales en las etapas de construcción, operación y abandono. Las "X" indican interacción.

Matriz de interacciones con "PHM"		Factores ambientales que reciben el impacto					
		GEOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	SUELOS	PAISAJES	GEOTECNIA	FUENTES HÍDRICAS
Acciones susceptibles de producir un impacto							
FASE DE CONSTRUCCIÓN	Transporte de equipos de construcción	X		X	X	X	
	Suministro de energía eléctrica				X		
	Construcción de instalaciones provisionales	X	X	X	X	X	X
	Construcción de pozo séptico	x		X		x	x

Matriz de interacciones con "PHM"		Factores ambientales que reciben el impacto					
		GEOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	SUELOS	PAISAJES	GEOTECNIA	FUENTES HÍDRICAS
	Acciones susceptibles de producir un impacto						
	Construcción de planta de potabilización	x		X	x	x	x
	Captación y suministro de agua potable				X		X
	Remoción de vegetación	X	X	X	X	X	X
	Remoción de capa de suelo o descapote	X	X	X	X	X	X
	Rehabilitación y construcción de vías	X	X	X	X	X	X
	Instalación de plantas de trituración y concreto	x		X	x		
	Construcción de obras de cruce de corrientes de agua			X	X		X
	Transporte de materiales de construcción	X		X	X	X	
	Excavación para la captación	X	X	X	X	X	X
	Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria			X	X		
	Excavación para la conducción	X	X	X	X	X	X
	Excavación para la casa de maquinas	X	X	X	X	X	X
	Construcción de la desviación del río	X	X	X	X	X	X

Matriz de interacciones con "PHM"		Factores ambientales que reciben el impacto					
Acciones susceptibles de producir un impacto		GEOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	SUELOS	PAISAJES	GEOTECNIA	FUENTES HÍDRICAS
	Construcción de la captación	X	X	X	X	X	X
	Construcción del túnel de conducción a flujo libre	X		X		X	X
	Construcción del pozo vertical	X		X		X	
	Construcción de casa de máquinas subterránea	X		X		X	X
	Tubería de conducción	X	X	X	X		
	Obras de estabilidad en las laderas	X	X	X	X	X	
	Voladura (Dinamita)	X	X	X	X	X	X
FASE DE OPERACIÓN	Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico	X	X		X		X
	Descarga de fondo y vertimiento de exceso	X	X		X		X
	Descarga de aguas turbinadas				X		X
	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador	X	X		X		X
FASE DE ABANDONO	Demolición de infraestructura	X		X	X	X	

Matriz de interacciones con "PHM"		Factores ambientales que reciben el impacto					
Acciones susceptibles de producir un impacto		GEOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	SUELOS	PAISAJES	GEOTECNIA	FUENTES HÍDRICAS
	Elementos y estructuras abandonados			X	X		
	Reconformación morfológica		X		X		X
	Restablecimiento del régimen natural del río	X			X		X

Anexo 9. Matriz de identificación de impactos ambientales en el PHM, en la fase de construcción. La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	Matriz de identificación de impactos ambientales "PHM"							
			FASE DE CONSTRUCCIÓN							
			Transporte de equipos y materiales de construcción	Construcción de instalaciones provisionales (talleres, campamentos, estación de gasolina, etc...)	Construcción de pozo séptico	Instalación de planta de potabilización	Remoción de vegetación y descapote	Rehabilitación y construcción de vías	Instalación de plantas de trituración y concreto	Excavación para la captación
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad								
		Movimientos en masa								
		Aumento en la meteorización								
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos								
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas								
		Socavamiento de superficies								
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico								
		Inundaciones								
		Incendio								
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual								
		Cambio en el uso del suelo								
	GEOTECNIA	Inestabilidad								
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos								
		Cambio en la longitud de drenajes								
Aumento de riesgo por avenidas torrenciales										

Anexo 10. Continuación de la matriz de identificación de impactos ambientales en el PHM, en la fase de construcción. La celda con color azul marca existencia de impacto entre la acción hacia el factor ambiental. Elaboración propia.

MEDIO	COMPONENTES AMBIENTALES	IMPACTO AMBIENTAL	Matriz de identificación de impactos ambientales "PHM"								
			FASE DE CONSTRUCCIÓN								
			Excavación para la conducción y casa de máquinas	Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria	Construcción de la desviación del río	Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre	Construcción del pozo vertical	Tubería de conducción	Obras de estabilidad en las laderas	Voladura (Dinamita)	
FÍSICO	GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad									
		Movimientos en masa									
		Aumento en la meteorización									
		Aumento y disminución en el transporte de sedimentos									
	GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas									
		Socavamiento de superficies									
	SUELOS	Pérdida de potencial agrológico									
		Inundaciones									
		Incendio									
	PAISAJE	Modificación de la calidad visual									
		Cambio en el uso del suelo									
	GEOTECNIA	Inestabilidad									
	FUENTES HÍDRICAS	Disminución o aumento de niveles freáticos									
		Cambio en la longitud de drenajes									
Aumento de riesgo por avenidas torrenciales											

16.4 Anexo tablas de evaluación de importancia ambiental en función de la calidad ambiental realizadas con base en la metodología de Prada, (2010), para las tres etapas del PHM.

Anexo 11 Tablas de evaluación de importancia ambiental en función de la calidad ambiental. Elaboración propia.

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Transporte de equipos y materiales de construcción										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	3	2	1	3	2	5	5	10	50.0	0.67	16.67
	Movimientos en masa	3	2	1	3	2	5	5	15	50.0	0.9	4.76
SUELOS	Socavamiento de superficies	3	0	5	7	2	5	7	15	75.0	1	0.00
	Incendio	3	2	7	7	0	1	5	10	66.7	0.67	22.22
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	3	2	7	1	2	5	1	0	66.7	0	66.67
GEOTECNIA	Inestabilidad	3	2	7	1	2	5	7	15	66.7	1	0.00

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Construcción de instalaciones provisionales, (campamento, talleres y gasolinera)										
		E X	S I	I N	R V	A C	P R	T R	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	1	2	3	7	2	5	5	1	66.7	0.67	22.22
	Movimientos en masa	1	2	4	7	2	1	5	1	54.2	0.9	5.16
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	4	7	2	5	1	0	70.8	0	70.83
SUELOS	Pérdida de potencial agrológico	1	2	4	7	2	5	1	0	70.8	0	70.83
	Incendio	1	2	6	7	0	1	5	1	54.2	0.67	18.06
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	6	7	0	5	1	0	70.8	0	70.83
	Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.3	0	83.33
GEOTECNIA	Inestabilidad	1	2	4	7	2	5	7	1	70.8	1	0.00
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes	1	2	7	7	2	5	7	1	83.3	1	0.00

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Construcción de pozo séptico										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	4	7	2	5	1	0	70.8	0	70.83
SUELOS	Pérdida de potencial agrológico	1	2	4	7	2	5	5	15	70.8	0.9	6.75
	Incendio	1	2	6	7	0	1	5	10	54.2	0.67	18.06
PAISAJE	Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.3	0	83.33

IMPACTO AMBIENTAL	Instalación de la planta de potabilización (portátil)										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Incendio	1	2	6	7	0	1	5	10	54.2	0.7	18.1
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	0	5	1	0	75.0	0.0	75.0
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	0	5	1	0	75.0	0.0	75.0

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Remoción de vegetación y capa de suelo o descapote										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	1	2	7	7	2	5	3	10	83.3	0.6	35.7
	Movimientos en masa	1	2	6	5	2	1	5	10	54.2	0.7	18.1
	Aumento en la meteorización	1	2	3	7	2	5	3	10	66.7	0.6	28.6
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	6	7	2	5	1	0	79.2	0.0	79.2
SUELOS	Socavamiento de superficies	1	2	5	7	2	5	3	5	75.0	0.3	50.0
	Pérdida de potencial agrológico	1	2	7	7	0	5	1	0	75.0	0.0	75.0
	Incendios	1	2	1	7	0	1	5	10	33.3	0.7	11.1
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	0	5	1	0	75.0	0.0	75.0
	Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.3	0.0	83.3
GEOTECNIA	Inestabilidad	1	2	6	5	2	5	7	15	70.8	1.0	0.0
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes	1	2	4	5	2	5	7	15	62.5	1.0	0.0

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Rehabilitación y construcción de vías										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	3	2	6	7	2	5	5	10	87.50	1	29.17

	Movimientos en masa	3	2	6	7	2	1	5	10	70.83	1	23.61
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	2	2	6	7	0	5	1	0	75.00	0	75.00
	Pérdida de potencial agrológico	3	2	7	7	2	5	1	0	91.67	0	91.67
	Incendio	3	2	2	1	0	1	5	10	20.83	1	6.94
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	3	2	7	7	0	5	1	0	83.33	0	83.33
	Cambio en el uso del suelo	2	2	7	7	0	5	1	0	79.17	0	79.17
GEOTECNIA	Inestabilidad	3	2	6	7	2	5	7	15	87.50	1	0.00
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes	2	2	5	7	2	5	7	15	79.17	1	0.00

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Instalación de plantas de trituración y concreto										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Movimientos en masa	1	2	6	5	2	1	5	15	54.2	0.9	5.2
SUELOS	Cambio en el uso del suelo	1	2	5	7	2	5	1	0	75.0	0.0	75.0
	Incendios	1	2	6	7	0	1	5	10	54.2	0.7	18.1
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	0	5	1	0	75.0	0.0	75.0

IMPACTO AMBIENTAL	Excavación para la captación										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Aumento de la erodabilidad	1	2	4	7	2	5	3	10	70.8	1	30.4
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	4	7	2	5	1	0	70.8	0	70.8
Incendios	1	2	6	7	0	1	5	10	54.2	1	18.1
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	2	5	1	0	83.3	0	83.3
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.3	0	83.3
Inestabilidad	1	2	6	7	2	5	7	15	79.2	1	0.0
Cambio en la longitud de drenajes	1	2	4	7	2	5	7	15	70.8	1	0.0

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Uso de concretos y aditivos, grasas de la maquinaria										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
SUELOS	Pérdida de potencial agrológico	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0.0	79.17
	Incendios	1	2	6	7	0	1	5	10	54.17	0.7	18.06
PAISAJE	Cambio en el uso del suelo	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0.0	79.17

IMPACTO AMBIENTAL	Construcción de la desviación del río y captación											
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}	
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0	79.17	
Incendios	1	2	6	7	0	1	5	10	54.17	0.667	18.06	
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33	

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Excavación y construcción de la casa de maquinas										
		EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento de la erodabilidad	1	2	6	7	2	5	3	10	79.2	0.6	33.9
	Movimientos en masa	1	2	6	7	2	1	5	15	62.5	0.9	6.0
GEOMORFOLOGÍA	Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	4	7	2	5	1	0	70.8	0.0	70.8
SUELOS	Incendios	1	2	7	7	0	1	5	10	58.3	0.7	19.4
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	5	7	2	5	1	0	75.0	0.0	75.0
	Cambio en el uso del suelo	1	2		7	2	5	1	0	54.2	0.0	54.2
GEOTECNIA	Inestabilidad	1	2	6	7	2	5	1	0	79.2	0.0	79.2
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes	1	2	7	7	2	5	7	15	83.3	1.0	0.0

IMPACTO AMBIENTAL	Excavación y construcción del túnel de conducción a flujo libre											
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}	
Aumento de la erodabilidad	1	2	7	7	2	5	3	5	83.33	0.333	55.56	
Movimientos en masa	1	2	6	7	2	1	5	10	62.50	0.667	20.83	
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0	79.17	
Incendios	1	2	5	7	0	1	5	10	50.00	0.667	16.67	
Modificación de la calidad visual	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0	79.17	
Cambio en el uso del suelo	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0	79.17	
Inestabilidad de taludes	1	2	6	7	2	5	5	15	79.17	0.905	7.54	
Cambio en la longitud de drenajes	1	2	7	7	2	5	7	15	83.33	1	0.00	

IMPACTO AMBIENTAL	Construcción del pozo vertical											
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}	
Aumento de la erodabilidad	1	2	3	7	0	5	3	5	58.33	0.333	38.89	
Movimientos en masa	1	2	4	7	2	1	5	10	54.17	0.667	18.06	
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	4	7	2	5	1	0	70.83	0	70.83	
Pérdida de potencial agrológico	1	2	4	7	2	5	1	0	70.83	0	70.83	
Incendios	1	2	6	7	0	1	5	10	54.17	0.667	18.06	
Modificación de la calidad visual	1	2	6	7	0	5	5	10	70.83	0.667	23.61	
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33	

Inestabilidad de taludes	1	2	4	7	2	5	5	15	70.83	0.905	6.75
--------------------------	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	-------	------

IMPACTO AMBIENTAL	Tubería de conducción										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Movimientos en masa	1	2	3	7	2	1	5	10	50.00	0.667	16.67
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Cambio en el uso del suelo	1	2	6	7	2	5	1	0	79.17	0	79.17

IMPACTO AMBIENTAL	Obras de estabilidad en las laderas										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Pérdida de potencial agrológico	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33

IMPACTO AMBIENTAL	Voladura (Dinamita)										
	EX	SI	IN	RV	AC	PR	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
Aumento de la erodabilidad	1	2	7	7	2	5	3	5	83.33	0.333	55.56
Movimientos en masa	1	2	7	7	2	1	5	10	66.67	0.667	22.22
Pérdida de unidades geomorfológicas	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Pérdida de potencial agrológico	1	2	7	7	2	5	5	10	83.33	0.667	27.78
Incendios	1	2	7	7	2	1	5	10	66.67	0.667	22.22
Modificación de la calidad visual	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Cambio en el uso del suelo	1	2	7	7	2	5	1	0	83.33	0	83.33
Inestabilidad de taludes	1	2	7	7	2	5	5	15	83.33	0.905	7.94
Cambio en la longitud de drenajes	1	2	7	3	2	5	7	15	66.67	1	0.00

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Captación de agua para generación de energía y vertimiento del caudal ecológico										
		EX	SI	PE	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	2	2	5	7	3	2	5	5	70.83	0.428571429	40.48
SUELOS	Inundaciones	1	0	1	4	1	0	5	5	12.50	0.428571429	7.14
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	5	7	7	2	1	0	83.33	0	83.33

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Descarga de fondo y vertimiento de exceso										
		EX	SI	PE	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	2	2	5	6	3	2	5	5	66.67	0.428571429	38.10
SUELOS	Socavamiento de superficies	1	2	5	5	1	2	5	5	50.00	0.428571429	28.57
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	5	6	5	0	5	5	62.50	0.428571429	35.71
FUENTES HÍDRICAS	Aumento de riesgo por avenidas torrenciales	2	2	5	7	3	2	5	5	70.83	0.428571429	40.48

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Descarga de aguas turbinadas										
		EX	SI	PE	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	2	2	5	7	1	2	5	5	62.50	0.428571429	35.71
SUELOS	Socavamiento de superficies	1	2	5	4	1	2	5	5	45.83	0.428571429	26.19
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	5	6	1	0	5	5	45.83	0.428571429	26.19
FUENTES HÍDRICAS	Aumento de riesgo por avenidas torrenciales	2	2	5	7	1	2	5	5	62.50	0.428571429	35.71

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Descarga de sedimento por desgravador y desarenador										
		EX	SI	PE	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	2	2	5	7	3	2	5	5	70.83	0.428571429	40.48
SUELOS	Socavamiento de superficies	2	2	5	7	1	2	5	5	62.50	0.428571429	35.71
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	2	5	7	3	0	5	5	58.33	0.428571429	33.33

FUENTES HÍDRICAS	Aumento de riesgo por avenidas torrenciales	2	2	5	6	1	2	5	5	58.33	0.428571429	33.33
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------	-------------	-------

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Demolición de infraestructura										
		EX	PE	SI	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Movimientos en masa	1	1	2	4	1	2	7	15	29.17	1	0.00
	Aumento y disminución en el transporte de sedimentos	1	5	0	4	1	2	3	5	37.50	0.333333333	25.00
GEOMORFOLOGÍA	Riesgo por incendio	1	5	2	6	7	0	5	10	70.83	0.666666667	23.61
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	5	2	6	1	0	5	10	45.83	0.666666667	15.28
	Cambio en el uso del suelo	1	5	2	6	7	2	1	0	79.17	0	79.17
GEOTENCIA	Inestabilidad	1	5	2	4	1	2	5	15	45.83	0.904761905	4.37
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en la longitud de drenajes	1	1	0	6	3	2	7	15	37.50	1	0.00

COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	Elementos y estructuras abandonados										
		EX	PE	SI	IN	RV	AC	TR	E	I _{(CA)N}	I _{RB(N)}	I _{NETO(N)}
GEOLOGÍA	Aumento en la erodabilidad	1	5	2	3	7	2	1	0	66.67	0	66.67
PAISAJE	Modificación de la calidad visual	1	5	2	7	7	0	1	0	75.00	0	75.00
FUENTES HÍDRICAS	Cambio en el uso del suelo	1	5	2	6	7	0	1	0	70.83	0	70.83

17 Bibliografía

Ardila, N. J. M., & García, U. G. M. (Eds.). (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Escala 1: 100.000. IDEAM.

Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica -AIS. (2009). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009 (informe). Comité AIS-300: Amenaza Sísmica. Bogotá, Colombia.

Astudillo, J. (2011). Estudio De Impacto Ambiental Y Plan de Manejo Ambiental. Productos y Servicios Industriales, 1–234. Retrieved from http://www.galapagospark.org/documentos/EIAs/EIA_Floreana_EnergiaElectrica_jun2011.pdf

Borrero, C., Toro, L.M., Alvarán, M., and Castillo, H., 2009, Geochemistry and tectonic controls of the effusive activity related with the ancestral Nevado del Ruiz volcano, Colombia: *Geofísica Internacional*, v. 48, p. 149–169.

Brunsden, D. 2002. The fifth Glossop Lecture. Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into an old game. *Quart. J. of Engng. Geol.* 35, 101-142

Busquets, J., & Cortina, A. (2009). Gestión del paisaje. Manual de protección, gestión y ordenación del paisaje, 643-656.

Carvajal, J. H. (2002). Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por INGEOMINAS. Documento interno INGEOMINAS sometido a discusión y modificaciones. 13p. Bogotá.

Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R. 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Volume 65, Number 1. Pág. 341-411.

Cochrane, R. (2013). *U-Pb thermochronology, geochronology and geochemistry of NW South America: rift to drift transition, active margin dynamics and implications for the volume balance of continents* [Doctoral dissertation, University of Geneva].

CONSORCIO HTA, (2008). Planta de Tratamiento De Aguas Residuales Bello. [PTA]

CORPOCALDAS, (2009). Diagnóstico socio ambiental cuenca del río Guarinó, dimensión socioeconómica POMA Cuenca del río Guarinó. (Informe Diagnóstico)

CORPOCALDAS, (2015). Plan de ordenación y manejo de la cuenca Guarinó. [POMPCA] <http://www.corpocaldas.gov.co/>

Cruden D. M. 1991. A simple definition of a landslide. *Bull Inter Assoc Engng Geol* 43, 27-29.

Cruden, D. M., Varnes D. J. 1996. Landslides types and processes In: *Landslides investigation and mitigations*. Transportation Research Board Special Report 24 (Turner and Schuster Eds), pág. 36-75.

Desarrollos energéticos de Oriente. (2018). Informe Final Capítulo 5. Evaluación Ambiental Versión 2 marzo De 2018. [PMA EL RETIRO]

Electro Oriente, (2009). Plan de Manejo Ambiental de la Central Hidroeléctrica Naranjos II. [PMA]

Enel S.A. (2018). Plan de manejo ambiental Quimbo. Plan de Manejo Ambiental. Consultado en junio de 2020.

EPM Ituango, (2011). Estudio de impacto ambiental, Plan de manejo ambiental. [EIA, PMA]

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas -UNISDR. (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastre. Ginebra: UN.
https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Etayo. (1985). Documentación paleontológica del Infracretácico de San Félix y Valle Alto, Cordillera Central. Proyecto Cretácico 16. b.

González, H., 1980, Geología de las Planchas 167 (Sonson) e 187 (Salamina): Boletín Geológico de Ingeominas, Informe 1760.

González, H., 2001, Mapa Geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria explicativa: Medellín, AN, Ingeominas.

González, H.; RUIZ, E. C. 1993. Secuencia metasedimentaria de Marulanda, Cordillera Central, Colombia. 6 Congr. Col. Geol., 1:206-221. Medellín.

González. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonson) y 187 (Salamina). Escala 1:100.000. Boletín Geológico, 23(1), 176. Retrieved from
<https://revistas.sgc.gov.co/index.php/boletingeo/article/view/396>

González. (2001). Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruíz Escala 1:100.000 Memoria Explicativa. 93.

Griffiths J.S., Mather A.E., Hart A.B. 2002. Landslide susceptibility in the Rio Aguas catchment SE Spain. Quart J Engng Geol 35, 9-17.

Hidrogenadora Pijao. (2016). Estudio De Impacto Ambiental Pequeña Central Hidroelectrica Hidrototare Pijao. 1–850.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America. (56), 275 - 370.

Hutchinson, J.N. 1995. Keynote paper, Landslide hazard assessment. Proceeding of the 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand 3, 1805-1841.

Instituto de Geografía, Universidad Católica de Chile. (2020). Geomorfología fluvial.

Geomorfología dinámica y fluvial. Consultado en marzo de 2020.

http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/3_1.html#:~:text=El%20perfil%20longitudinal%20de%20un,las%20diferentes%20competencias%20del%20flujo.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. (2001). Estudio Ambiental de la Cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. (Reporte técnico y base de datos de Arcinfo). Bogotá, Colombia.

Irving, E. M. 1971. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 19(2):1-90. Bogotá.

LATINCO S.A., (2011). Estudio de Impacto Ambiental del aprovechamiento hidroeléctrico del río Guarín Proyecto Montebonito. (EIA)

Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial-MAVDT. (2010). Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales. Bogotá.

Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista chilena de historia natural*, 77(1), 139-156.

Núñez Tello, A., 2001, Mapa geológico del departamento del Tolima: Geología, recursos geológicos y amenazas geológicas, 1:250.000, memoria explicativa: Bogotá, INGEOMINAS.

Oroazul Constructora Ambiental, (2017). Estudio de impacto ambiental ex post y plan de manejo ambiental con énfasis en el plan de contingencias del proyecto operación, mantenimiento y cierre de actividades de transporte de materiales peligrosos (combustibles líquidos) del autotanker placa MGB-0828. [EIA]

Page, W. 1986. Geología sísmica y sismicidad al noroeste de Colombia. Informe preparado para ISA. 156 p. Medellín.

Prada, R. J. M. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia [tesis de maestría, UNAL].

Rivera-Posada, J. H., Lal, R., Amézquita-Collazos, É., Mesa-Sánchez, Ó., & Chaves-Córdoba, B. (2010). Predicción De La Erodabilidad En Algunos Suelos De Ladera De La Zona Cafetera Colombiana. *Cenicafé*, 61(4), 344–357.

- Scheidegger, A. E. 1998. Tectonic predesign of mass movements, with examples from the Chinese Himalaya. *Geomorphology* 26, 37-46.
- Schuster R. L. 1996. Socioeconomic significance of landslides. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds.) *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington, DC, USA. 129-177 pp.
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En Chow, V. (Ed). (1964). *Handbook*
- Thouret, J. C., Murcia, A., Salinas, R., & VATIN PERIGNON, N. (1985). Cronoestratigrafía mediante dataciones K/Ar y ¹⁴C en los volcanes compuestos del complejo Ruiz-Tolima y aspectos volcano-estructurales del Nevado del Ruiz, Cordillera Central, Colombia. In Congreso latinoamericano de geología. 6 (pp. 336-382).
- Toussaint, J. F. (1993). Evolución geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Verstappen, H., & Zuidam, V. RA 1992. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Publicación ITC, (10).
- Zinck, J. A. (2012). Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands.