PRAMING
Proyectos amigables de ingeniería SAS

Taborda Velez & Cia.

Proyecto Hidroeléctrico COCORNÁ III

Río Cocorná, Antioquia

Estudio de Impacto Ambiental

Capítulo 2

Generalidades

Diciembre de 2020

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín • Tel: (57) (4) 448 47 50
Info@praming.com.co • www.praming.com.co

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS iii
LISTA DE TABLAS iv
LISTA DE FOTOS vii
LISTA DE ANEXOS viii
2 GENERALIDADES 9
2.1 Introducción 9
2.2 Glosario 10
2.3 Estructura del informe 11
2.4 Objetivos 14
2.4.1 Objetivo General 14
2.4.2 Objetivos Específicos 15
2.5 Marco Normativo 15
2.6 Antecedentes 21
2.6.1 Justificación 21
2.6.2 Trámites y estudios previos 22
2.6.3 Otros proyectos en el área de influencia 23
2.6.4 Compatibilidad del proyecto con el Plan De Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Samaná Norte 25
2.6.4.1 Compatibilidad del proyecto con la zonificación ambiental del POMCA 25
2.6.4.2 Compatibilidad del proyecto con las líneas, programas y proyectos formulados en el POMCA 29
2.6.5 Restricciones ambientales existentes en la zona de estudio 30
2.7 Alcances 35
2.7.1 Tipo de información 35
2.7.2 Escala espacial de la ingeniería 37
2.7.3 Escala espacial de la cartografía temática 37
2.7.4 Escala temporal 37
2.7.5 Alcance legal 37
2.7.6 Sistema de coordenadas 37
2.8 Metodología 38

2.8.1 Caracterización del Medio Abiótico 38
2.8.1.1 Geología, Geomorfología y Geotecnia 38
2.8.1.2 Paisaje 42
2.8.1.3 Hidrología 51
2.8.1.4 Calidad del Agua 81
2.8.1.5 Hidrogeología 90
2.8.1.6 Atmósfera 90
2.8.2 Caracterización del Medio Biótico 97
2.8.2.1 Ecosistemas Terrestres 97
2.8.2.2 Coberturas de la Tierra 98
2.8.2.3 Flora 98
2.8.2.4 Caracterización de especies de flora en veda nacional 108
2.8.2.5 Fauna Terrestre 119
2.8.2.6 Ecosistemas Acuáticos 136
2.8.3 Caracterización del Medio Socioeconómico 144
2.8.3.1 Diagnóstico 144
2.8.4 Caracterización de servicios ecosistémicos 160
2.8.5 Evaluación Ambiental de Impactos 164
2.8.5.1 Escenario sin proyecto 164
2.8.5.2 Escenario con proyecto 164
2.9 Personal de trabajo 170
BIBLIOGRAFÍA 172

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Zonificación ambiental del área de influencia con respecto a la zonificación ambiental del POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte 28
Figura 2-2. Consulta en el portal del SIAC de las restricciones ambientales en el área de influencia del proyecto (polígono de color café)..... 32
Figura 2-3. Restricciones ambientales de cartografía temática de Cornare en el polígono de estudio de los recursos naturales aprobado por la Corporación..... 33
Figura 2-4. Resultados de la consulta en el portal del SIAC 34
Figura 2-5 Esquema metodológico geología, geomorfología y geotecnia. 41
Figura 2-6. DEM satélite Alos Palsar I de las agencias espaciales NASA y JAXA. Resolución de 12,5 m..... 52
Figura 2-7. Hidrograma unitario adimensional del SCS. 75
Figura 2-8. (a) Hidrograma unitario estándar ($t_p = 5{,}5t_r$), (b) hidrograma unitario requerido ($t_p \neq 5{,}5t_r$) 77
Figura 2-9. Ubicación de los puntos de monitoreos de calidad del agua 82
Figura 2-10. Ubicación de las estaciones del IDEAM solicitadas. 91
Figura 2-11. Esquema del diagrama de cajas y bigotes o boxplot 93
Figura 2-12 Medición de CAP teniendo en cuenta diferentes consideraciones 100
Figura 2-13. Zonificación del Forófito para epifitas vasculares y no vasculares..... 110
Figura 2-14 Solicitud formal ante oficina del SISBEN 149
Figura 2-15 Solicitud formal ante oficina de Secretaría de Salud..... 151
Figura 2-16 Solicitud formal ante Secretaría de Salud..... 152
Figura 2-17 Solicitud formal ante Secretaría de Desarrollo Social 154
Figura 2-18 Solicitud formal ante Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente..... 156
Figura 2-19. Solicitud formal ante Oficina de Catastro..... 157
Figura 2-20 Fichas de caracterización veredal 159
Figura 2-21. Ficha de caracterización socio-ambiental..... 160
Figura 2-22. Procedimiento para la evaluación de servicios ecosistémicos..... 162
Figura 2-23. Priorización de acuerdo con la dependencia de los beneficiarios al servicio ecosistémico. 163
Figura 2-24. Priorización de acuerdo con la dependencia del proyecto al servicio ecosistémico 163

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Marco Normativo 16
Tabla 2-2. Relación de los trámites realizados en el marco del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III 22
Tabla 2-3 Listado de proyectos ubicados en zonas cercanas el área de influencia del proyecto Cocorná III 24
Tabla 2-4. Categorías de la zonificación ambiental de los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas (POMCA) 25
Tabla 2-5. Área y proporción de las categorías de zonificación ambiental dentro del área de influencia 26
Tabla 2-6. Área y proporción de las zonas de uso y manejo de la zonificación ambiental dentro del área de influencia 26
Tabla 2-7. Área y proporción de las subzonas de uso y manejo de la zonificación ambiental dentro del área de influencia 27
Tabla 2-8 Atributos geomorfológicos 40
Tabla 2-9. Factores determinantes del paisaje 42
Tabla 2-10. Fuentes de información para análisis del paisaje 43
Tabla 2-11. Rangos de escala visual 44
Tabla 2-12. Clases de calidad visual BLM (1989) 45
Tabla 2-13. Inventario/ Evaluación de calidad escénica. Criterios de ordenación y puntuación (BLM ,1989) 45
Tabla 2-14. Niveles de sensibilidad (BLM, 1989) 46
Tabla 2-15. Clases de gestión Visual (BLM, 1989) 47
Tabla 2-16. Factores biofísicos (Yeomans 1986) 48
Tabla 2-17. Clases de capacidad de absorción visual (adaptado de Yeomans, 1986) 49
Tabla 2-18. Valores de la capacidad de absorción visual (adaptado de Yeomans 1986) 49
Tabla 2-19. Clases de valor paisajístico (Ramos et al, 1980) 50
Tabla 2-20. Calificación valor paisajístico (Ramos et al, 1980) 50
Tabla 2-21. Variables analizadas en la metodología de determinación de Caudales de Garantía Ambiental – CGA (EPM, 2012). 58
Tabla 2-22. Parámetros de calificación de la variable: Longitud del tramo del río con drástica reducción de caudal 59
Tabla 2-23. Parámetros de calificación de la variable: Calidad físico – química del agua 60
Tabla 2-24. Parámetros calificación de la variable: Demanda de agua para la dilución de contaminantes en el sector afectado 61
Tabla 2-25. Parámetros de calificación de la variable: Índice de Integridad Biótica de Peces 61
Tabla 2-26. Parámetros de calificación de la variable: Presencia de especies que migran, amenazadas o en peligros 62
Tabla 2-27. Parámetros de calificación de la variable: Calidad biológica del agua 63

Tabla 2-28. Parámetros de calificación la variable: Índice Biótico de Vegetación Riparia....63
Tabla 2-29. Parámetros de calificación la variable: Diversidad del perifiton....64
Tabla 2-30. Parámetros de calificación de la variable: Modificación del paisaje 65
Tabla 2-31. Parámetros de calificación de la variable: Usos del agua en el sector con caudal afectado....66
Tabla 2-32. Número de curva (CN). Condición de humedad antecedente AMC II ...71
Tabla 2-33. Calificación de los rangos de valores del índice de retención y regulación hídrica (IRH)....79
Tabla 2-34. Puntos de monitoreo de calidad del agua en el Río Cocorná 81
Tabla 2-35. Métodos de preservación y de análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros analizados....83
Tabla 2-36. Criterios de calidad para usos agrícola, pecuario y recreativo 86
Tabla 2-37. Variables y ponderaciones del ICA para la cuenca del Río Samaná Norte 88
Tabla 2-38. Rangos de clasificación del ICA 88
Tabla 2-39. Rangos de clasificación del ICO....90
Tabla 2-40. Características de las estaciones del IDEAM solicitadas....91
Tabla 2-41. Ecuaciones de estimación de presión atmosférica a partir de variaciones altitudinales 96
Tabla 2-42. Estimación de número de parcelas a realizar en el inventario....101
Tabla 2-43. Métricas de las plantas vasculares empleadas para la construcción del IIBVegRip....116
Tabla 2-44. Puntajes de las variables utilizadas 117
Tabla 2-45. Interpretación del IIB de la vegetación riparia....118
Tabla 2-46. Calificación del IIB de la vegetación riparia 118
Tabla 2-47 Puntos de muestreo establecidos para la caracterización de la comunidad de anfibios y reptiles presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 121
Tabla 2-48. Coordenadas de los puntos fijos de muestreo en cada cobertura analizada en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 124
Tabla 2-49. Ubicación geográfica de las redes de niebla usadas en el Área de Influencia del Proyecto PCH Cocorná III. 126
Tabla 2-50 Ubicación de los puntos donde se instalaron trampas Sherman y Tomahawk dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 129
Tabla 2-51 Puntos donde se lograron observaciones y/o registros indirectos de especies dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III....130
Tabla 2-52 Ubicación de los puntos donde se instalaron las redes de niebla dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 132
Tabla 2-53. Índices de diversidad alfa y beta utilizados para la caracterización de las comunidades de fauna terrestre (avifauna, herpetofauna y mastofauna) presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 134
Tabla 2-54. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldan, 2003) 139
Tabla 2-55. Calificación de la calidad del agua y su significado para el Índice biótico BMWP/Col (Roldan, 2003). 140

Tabla 2-56. Especies probables de ser detectadas en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III.....144
Tabla 2-57. Gestión documental.....158
Tabla 2-58. Metodología para la evaluación de la Importancia Ambiental de Impactos 167
Tabla 2-59. Puntajes asociados a la Importancia Ambiental del Impacto (IAI).....169
Tabla 2-60. Relación de profesiones participantes en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.....170

LISTA DE FOTOS

Foto 2-1. Registro de toma de datos en campo flora 102
Foto 2-2. Registro de epífitas vasculares 111
Foto 2-3 Muestreo de Orquídeas y bromelias terrestres 111
Foto 2-4 Muestreo de epifitas no vasculares de hábito epífito 112
Foto 2-5 Muestreo de epifitas no vasculares en otros sustratos 113
Foto 2-6. Establecimiento de Parcelas de muestreo de vegetación riparia 116
Foto 2-7. Muestras de biomasa recolectadas 116
Foto 2-8. Método de búsqueda por encuentros visuales en los diversos hábitats presentes dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 120
Foto 2-9. Observación de caracteres morfológicos para la identificación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles (e.j *Pristimantis viejas*) presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III. 121
Foto 2-10. Área de estudio y puntos fijos de observaciones 124
Foto 2-11. Manipulación de un individuo de atrapamoscas pirata (*Legatus leucophaius*) capturado en las redes de niebla. 126
Foto 2-12 Trampas Sherman y Tomahawk instaladas para la captura de mamíferos pequeños y medianos. 128
Foto 2-13 Recorridos libres en el área de influencia y algunos indicios encontrados durante estos. 130
Foto 2-14 Redes de niebla utilizadas para la captura de mamíferos voladores. 132
Foto 2-15. Metodología de muestreo de los organismos ficoperifíticos en el área de influencia de la PCH Cocorna III 137
Foto 2-16. Método de recolección de macroinvertebrados en el área de influencia de la PCH Cocorná III 138
Foto 2-17. Aspectos de los métodos de pesca, almacenamiento, toma de datos y liberación de especímenes capturados en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III 142

LISTA DE ANEXOS

Anexo 3.1 Localización General del Proyecto

Anexo 5.1.7.3 Resumen de caudales

Anexo 5.2.11 Base de datos de las parcelas de vegetación riparia

Anexo 13. GDB

2 GENERALIDADES

2.1 Introducción

A continuación, se presenta el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto hidroeléctrico Cocorná III (denominado en adelante El Proyecto), formulado por PRAMING S.A.S., para la empresa Taborda Vélez & CIA S en C. El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Cocorná en el departamento de Antioquia, hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma de las cuencas de los ríos Negro y Nare "CORNARE" (en adelante la CAR) y, pretende aprovechar las aguas del río Cocorná, aproximadamente 4,15 kilómetro aguas arriba de la desembocadura de la quebrada La Chorrera al río Cocorná en límites de las veredas La Placeta y San Vicente, ver Anexo 3.1 Localización General del Proyecto.

Este estudio incluye la caracterización de la oferta natural existente en el área de influencia delimitada para cada uno de los componentes socioambientales analizados, así como el diagnóstico de la demanda de recursos naturales necesarios para la ejecución del proyecto, la evaluación ambiental de impactos que el proyecto podría generar, incluyendo los impactos acumulativos que se generan por el desarrollo simultáneo de otros proyectos en la zona, y la formulación de planes de manejo ambiental para mantener el equilibrio de los ecosistemas intervenidos, entre otros aspectos.

La localización y el trazado de las obras del proyecto (obras de captación, derivación, conducción, generación, descarga, etc.) que se desarrollan en el Capítulo 3 de este EIA, tienen como principal objetivo disminuir los impactos ambientales negativos que se puedan generar sobre la población y la oferta natural existente en la zona del proyecto, al mismo tiempo que buscan respetar los valores sociales, económicos y culturales de la región y, como elemento de juicio adicional, pretenden que su diseño y trazado respondan a exigencias de buena ingeniería, economía y facilidades constructivas.

Para plantear y consolidar la ubicación y el diseño de las obras, se tuvieron en cuenta las condiciones topográficas y geotécnicas del terreno, unidades geológicas superficiales, estructuras geológicas, condiciones del macizo rocoso y las zonas que por su geoforma muestran aptitud para albergar las obras del proyecto.

Desde el punto de vista biótico, se evaluaron las coberturas naturales y la presencia o no de áreas protegidas, ecosistemas estratégicos y áreas de importancia ambiental que pudieran limitar las opciones de trazado, para finalmente seleccionar zonas donde la intervención de la cobertura natural fuera la menor posible, con el fin de evitar la alteración de hábitats naturales.

Por otro lado, desde el punto de vista social, se consideraron las dinámicas socioeconómicas y culturales de la zona de interés del proyecto, que pudieran restringir el trazado y ubicación de las obras. El análisis se basó en la identificación de los siguientes fenómenos socioeconómicos y culturales:

- Usos del suelo según el EOT vigente: consiste en identificar los usos y la vocación del suelo de la zona de interés del proyecto, para observar posibles conflictos de uso con la implementación del proyecto.

- Demografía: evalúa si las dinámicas demográficas son determinadas por las dinámicas del río y sus recursos asociados, para establecer el trazado más propicio de implantación del proyecto, para no impactar negativamente los fenómenos poblacionales.

- Condiciones espaciales: evalúa a detalle las condiciones de las viviendas existentes y la cobertura en servicios públicos, para estimar si el desarrollo del proyecto podría afectar esa infraestructura privada y determinar si influye sobre la cobertura de servicios públicos.

- Equipamientos: identifica los equipamientos sociales, recreativos, educativos, de encuentro y de salud que puedan verse afectados negativamente por la implantación del proyecto.

- Económico: identifica las características productivas del área cercana al río en el tramo de interés para el proyecto y evalúa las posibles afectaciones que pueda generar su desarrollo.

- Cultural y patrimonial: identifica y caracteriza la presencia o no de predios catalogados como patrimonio cultural y de los sitios de interés que estén ubicados sobre el río Cocorná o sobre alguno de sus afluentes en el tramo de interés.

- Organizacional: establece si el proyecto puede afectar los sistemas organizativos y políticos existentes en la zona de estudio.

2.2 Glosario

AA	Autoridad Ambiental
CA	Concesión de aguas
DAA	Diagnóstico Ambiental de Alternativas
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
LA	Licencia ambiental
PE	Permiso de estudio del recurso hídrico
PR	Permiso de recolección de especímenes de la biodiversidad
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PMS	Plan de Monitoreo y Seguimiento
PC	Plan de Contingencia
P1%	Plan de inversión del 1%
MinAmbiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MININT	Ministerio de Interior
ICANH	Instituto Colombiano de Antropología e Historia

UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
CAR	Corporación Autónoma Regional

2.3 Estructura del informe

La estructura del documento y su contenido tienen un carácter genérico, al ser ajustado a la información exigida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y haciendo práctico el Documento para la Elaboración de Estudios Ambientales (2018) de la misma entidad. Se adaptaron estas exigencias a la magnitud y particularidades del proyecto, así como a las características ambientales regionales y locales en donde pretende desarrollarse.

Los Capítulos que se describen a continuación se encuentran divididos en diferentes documentos, subdivididos a su vez en numerales. Cada uno de dichos documentos pueden contener varios anexos.

- Capítulo 1: Resumen Ejecutivo

Contiene la localización del proyecto, el resumen de las características técnicas de éste y el listado de impactos ambientales identificados y de los planes de manejo ambiental propuestos para su adecuado manejo. Además, presenta el presupuesto del proyecto y su cronograma de ejecución.

- Capítulo 2: Generalidades

Este capítulo incluye la exposición del contenido del documento, objetivos, antecedentes, alcances y la metodología utilizada para el planteamiento del proyecto, así como para la evaluación de impactos ambientales, la delimitación del área de influencia, entre otros aspectos transversales a todos los Medios y Componentes analizados.

Se relacionan además el marco normativo bajo el cual se realizó el Estudio de Impacto Ambiental y los profesionales que participaron en él, especificando para cada uno su responsabilidad y la disciplina a la que pertenece.

- Capítulo 3: Descripción del Proyecto

Se define la localización geográfica, las características técnicas de las obras principales, obras de captación y caudales aprovechables, características de operación, descripción técnica de las obras asociadas (talleres, almacenes y vías de acceso), y el dimensionamiento de las actividades de construcción y operación.

Se relaciona la duración de las obras, etapas y cronograma de actividades, costo total del proyecto y el costo de operación anual del mismo. Adicionalmente, se presenta la estructura organizacional de la empresa que lo desarrollará, definiendo los

responsables de la Gestión Ambiental, así como sus funciones durante la ejecución de los proyectos.

- Capítulo 4: Área de Influencia

Contiene la explicación de los criterios tenidos en cuenta para la delimitación del área de influencia del proyecto por Componente y Medio, considerando los resultados de la caracterización ambiental y los impactos ambientales que puede generar la ejecución de las obras y la operación de la PCH. Para finalmente delimitar el área de influencia total del proyecto.

- Capítulo 5: Caracterización del Área de Influencia del Proyecto

Contiene la caracterización socioambiental del área de influencia delimitada en el Capítulo 4, evaluando los diferentes temas de acuerdo con la estructura de los Términos de Referencia (TdR 14) adaptados por Cornare en el 2017 y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MinAmbiente & ANLA, 2018). Lo anterior, establecido fundamentalmente desde la información primaria recolectada durante la ejecución de este EIA.

Así mismo, contiene la caracterización de los servicios ecosistémicos que pueden ser afectados por la construcción y operación de la PCH Cocorná III.

- Capítulo 6: Zonificación Ambiental

En este capítulo se presenta la zonificación ambiental del área de influencia del proyecto, realizada a partir del análisis de sensibilidad ambiental de las áreas de influencia por componentes o grupo de componentes, en su condición sin proyecto.

- Capítulo 7 Demanda, Uso, Aprovechamiento y/o Afectación de Recursos Naturales

Se presenta la caracterización general de los recursos naturales renovables que demandará el proyecto y que serán aprovechados o afectados durante las distintas etapas del mismo. Se tratan los aspectos referentes a las aguas superficiales, subterráneas, vertimientos, ocupación de cauces, materiales de construcción, aprovechamiento forestal, emisiones atmosféricas y manejo y disposición final de residuos sólidos.

Se consideran, además, los permisos, concesiones y autorizaciones para el aprovechamiento de los recursos naturales, presentando en documentos anexos la información requerida para tal fin.

- Capítulo 8: Evaluación Ambiental

En este capítulo se presenta la identificación de los impactos que se pueden generar sobre el ambiente en cada una de las etapas de desarrollo del proyecto: Estudios,

Construcción, Operación y Desmantelamiento y Abandono. En cada una de ellas, y para cada uno de los medios o componentes del ambiente considerados (abiótico, biótico y socioeconómico), se identifican las posibles afectaciones (positivas y negativas) sobre el entorno como consecuencia del proyecto, es decir, que pueden ser generados en el área de influencia del mismo. Esta evaluación se realiza tanto para la condición con proyecto como sin proyecto (análisis asociado a las actividades antrópicas y naturales propias de la región).

La evaluación ambiental considera la jerarquización de los impactos, generando valores que permiten cuantificar el nivel de afectación al área que será intervenida, para posteriormente definir los programas de manejo en los planes ambientales a implementar en cada una de las dimensiones ambientales.

Este capítulo también incluye la evaluación económica de los impactos que no pueden ser internalizables por los Planes de Manejo Ambiental y que además son relevantes para la evaluación económica, así como el análisis de impactos acumulativos generados en el área de influencia, debido a la presencia simultánea en tiempo o en espacio de otros proyectos productivos con la PCH Cocorná III.

- Capítulo 9: Zonificación de Manejo Ambiental (ZMA)

De acuerdo con los resultados de la evaluación de sensibilidad ambiental del área de influencia del proyecto (Zonificación Ambiental) y de la evaluación de impactos, se realiza la Zonificación de Manejo Ambiental, reconociendo para ello aquellas áreas que deben ser clasificadas para la ejecución del proyecto como zonas de exclusión, intervención con restricciones y de intervención sin restricciones.

El análisis de sensibilidad de los atributos de los diferentes elementos de cada medio se representa mediante mapas de zonificación a partir de sistemas de información geográfica, concluyendo finalmente cuáles son las zonas de especial significado ambiental que no podrán ser intervenidas por la pequeña central hidroeléctrica o que para su intervención requieren de la implementación de programas de manejo que prevengan y/o minimicen los impactos y riesgos generados para la población del área de influencia.

- Capítulo 10: Planes y Programas

Plan de Manejo Ambiental (PMA): se plantea un conjunto de programas, proyectos y actividades necesarias para prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los impactos negativos, y potenciar los positivos generados por el proyecto durante las diferentes etapas. Para cada impacto identificado se formula como mínimo un programa y/o proyecto como medida de manejo.

El PMA se presenta en forma de fichas en las que se precisa como mínimo lo siguiente: objetivos, metas, etapa, impactos a controlar, tipo de medida, acciones a desarrollar, lugar de aplicación, población beneficiada, personal requerido para la

ejecución, indicadores de seguimiento y monitoreo (cualificables y cuantificables), cronograma y presupuesto.

Plan de Monitoreo y Seguimiento (PMS): El Plan de Monitoreo y Seguimiento tiene como fin revisar la eficiencia y confiabilidad de los Planes de Manejo Ambiental implementados para el manejo de los impactos generados por el proyecto. Esto se hace con el propósito de identificar fallas y proponer ajustes a dichos PMA.

El PMS contempla como mínimo la siguiente información: objetivo del Plan, planes de manejo ambiental asociados, lugar de aplicación, etapas del proyecto en que se ejecuta, responsables de su ejecución, indicadores y actividades que contempla, entre otra información.

Plan de Gestión del Riesgo: Se incluye una identificación de las amenazas o siniestros de posible ocurrencia, la definición de contextos, la estimación de la probabilidad de ocurrencia de las emergencias y la definición de los factores de vulnerabilidad que permitan calificar la gravedad de los eventos generadores de emergencias para cada escenario. Esta valoración considera los riesgos tanto endógenos como exógenos al proyecto.

También contiene la formulación del plan de contingencias, necesario para prevenir, controlar y atender potenciales situaciones de emergencia derivadas de la materialización de los riesgos identificados.

Plan de Desmantelamiento y Abandono: Se plantea un plan de desmantelamiento o cierre de la infraestructura intervenida, señalando las medidas de manejo y reconformación morfológica que garanticen la estabilidad y restablecimiento de la cobertura vegetal y paisajística, según aplique, y en relación con la oferta del uso final del suelo.

Plan de inversión del 1%: Se presenta una propuesta técnico-económica para la inversión del 1% del costo del proyecto, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2099 del 22 de diciembre de 2016, que modificó el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015, o aquel que lo modifique, sustituya o derogue.

Plan de compensación por pérdida de biodiversidad: En este informe se presenta el Plan de compensación por pérdida de biodiversidad debido al aprovechamiento de la cobertura vegetal para la construcción de las obras.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental de la pequeña central hidroeléctrica Cocorná III (PCH Cocorná III) mediante el análisis de los medios abiótico, biótico y socioeconómico del área de influencia, y de los recursos naturales necesarios para

su construcción y operación, conforme con la adaptación realizada por CORNARE, en octubre de 2017, de los Términos de Referencia TdR014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y según la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MinAmbiente & ANLA, 2018).

2.4.2 Objetivos Específicos

1. Describir técnicamente el proyecto, la forma, localización y las dimensiones de sus obras principales y auxiliares, el cronograma y presupuesto de construcción y la cantidad de personas necesarias para su ejecución.

2. Definir y describir el Área de Influencia (AI) del proyecto y caracterizar los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico que podrían ser impactados.

3. Estimar la demanda, el uso, el aprovechamiento y/o la afectación de los recursos naturales del AI que serán necesarios para el desarrollo del proyecto.

4. Evaluar los impactos ambientales positivos y negativos que pueden generar las actividades del proyecto durante las etapas de estudio, construcción, operación, desmantelamiento y abandono.

5. Formular el Plan de Manejo Ambiental (PMA) para prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los impactos identificados.

6. Elaborar el Plan de Monitoreo y Seguimiento que permita medir la eficacia de las medidas del PMA y realizar los ajustes que se consideren necesarios.

7. Realizar la evaluación de riesgos ambientales del proyecto y el plan de contingencias.

8. Elaborar el Plan de Desmantelamiento y Abandono del proyecto.

9. Proponer un plan para la inversión del 1% del presupuesto de inversión del proyecto.

2.5 Marco Normativo

En la Tabla 2-1 se muestra un listado de las leyes, normas y guías utilizadas para cada uno de los aspectos analizados en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Cocorná III.

Tabla 2-1 Marco Normativo

Categoría	Norma
Generales	Constitución Política de Colombia.
	Decreto-Ley 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
	Decreto 919 de 1989. Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.
	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.
	Decreto 3440 de 2004: Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
	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.
	Decreto 2041 de 2014: Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
	Decreto 1076 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
	Resolución 1519 de 2017: Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica y se toman otras determinaciones.
	Términos de Referencia Estudio de Impacto Ambiental Construcción y Operación de Centrales Hidroeléctricas Generadoras. Adaptación de Cornare. 2017.
	Resolución 1402 de 2018: Por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.
	Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. ANLA, 2018.
Suelos	Decreto 1541 de 1978: Por el cual se reglamenta la Parte II del Libreo II del Decreto-Ley 2811 de 1974: " De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981.
	Ley 388 de 1997: Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 3600 de 2007: Por el cual se reglamentan las disposiciones de las leyes 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de las actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelos y se adoptan otras disposiciones.

Categoría	Norma
Agua	Decreto 1449 de 1977: Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley 2811 de 1974 (Código de los Recursos Naturales Renovables.
	Decreto 1541 de 1978 de las aguas no marítimas. Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981.
	Decreto 1681 de 1978: por el cual se reglamenta la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley de 1973 y el Decreto-ley 37 de 1957
	Ley 9 de 1979: Código Sanitario
	Decreto 2858 de 1981: Modifica el Decreto 1541 de 1978: Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978
	Decreto 2857 de 1981: por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones
	Decreto 2105 de 1983: por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de las Ley 9 de 1979 en cuanto a Potabilización de Agua
	Decreto 1594 de 1984: usos del agua y residuos líquidos. Derogado por el artículo 79, Decreto Nacional 3930 de 2010, salvo los artículos 20 y 21
	Documento CONPES 1750 de 1995, 2866 de 1996, 3140 de 2001 y 327 de 2004. Políticas y guías ambientales
	Resolución 1096 de 2000: por el cual se otorga el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Modificado por la Resolución 2023 de 2009.
	Decreto 1729 de 2002: Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y el artículo 8° del Decreto 1594 de 1994 y demás disposiciones que le sean contradictorias
	Decreto 1575 de 2007: por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del agua para Consumo Humano. El Decreto 1575 de 2007 deroga en su artículo 35 el Decreto 475 de 1998 y el artículo 52 del Decreto 1594 de 1984, con excepción de lo referente al uso agrícola de las aguas servidas
	Decreto 3930 de 2010: por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11 - del libro 1 del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. (Deroga las disposiciones que le sean contrarias, en especial los artículos 193, 213 a 217 del Decreto 1541 de 1978 y el Decreto 1594 de 1984, salvo los artículos 20 y 21)
	Decreto 4728 de 2010 del MAVDT por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 sobre vertimientos

Categoría	Norma
	Resolución 1514 de 2012 del MADS: por la que se adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos
	Decreto 1807 de 2014 se contempla la hidrogeología del área de estudio, tanto para estudios básicos como para estudios detallados.
	Resolución 0631 de 2015: Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado de uso público y se dictan otras disposiciones.
Calidad del Aire y Ruido	Ley 2 de 1982: Emisiones atmosféricas
	Resolución 8321 de 1983: Por el cual se dictan normas sobre Protección y Conservación de la Audición de la Salud y Bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruido
	Resolución 2308 de 1986: Por el cual se adopta un procedimiento para el análisis de la calidad del aire
	Decreto 948 de 1995: Prevención y Control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
	Resolución 1351 de 1995: Por el cual se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones (EI-1)
	Decreto 2107 de 1995: modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
	Resolución 619 de 1997: Por la cual se establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas
	Resolución 415 de 1998: Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnica para realizar la misma. Modificada parcialmente por la resolución 1446 de 2005: artículos 1 y 2 deroga el artículo 3
	Resolución 627 de 2006: Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
	Decreto 979 de 2008: emisiones admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Modificada por la Resolución 1309 de 2010, métodos de medición establecidos por la Resolución del IDEAM 935 de 2011.
	Resolución 910 de 2008: permiso de emisión para fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel (deroga la Resolución 910 de 1996, la Resolución 005 de 1996, la Resolución 236 de 1999, la Resolución 237 de 1999 y la Resolución 2380 de 2007.
	Resolución 2154 de 2010: Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.

Categoría	Norma
	Resolución 2254 de 2017: Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.
Paisaje	Decreto 1715 de 1978: Por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto-Ley 154 de 1976, en cuanto a la protección del paisaje
Fauna y Flora	Decreto 1608 de 1978: Fauna Silvestre
	Decreto 1681 de 1978: por el cual se reglamenta la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley de 1973 y el Decreto-ley 37 de 1957
	Ley 79 de 1986: Conservación del agua y las reservas protectoras.
	Decreto 2256 de 1991: reglamenta la Ley 33 de 1990
	Decreto 1791 de 1996: por el cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal, establece todas las directrices y procedimientos necesarios para llevar a cabo la actividad
	Decreto 3016 de 2013: Por el cual se reglamenta el Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales
Medio socio-económico	Ley 36 de 1936: Por la cual se aprueba el Pacto Roerich para la protección de las Instituciones Artísticas y Científicas y Monumentales Históricos.
	Ley 14 de 1936: por el cual se autoriza al Poder Ejecutivo a adherir al Tratado sobre la protección de muebles de valor histórico
	Ley 163 de 1959: por la cual se dictan medidas sobre la defensa y la conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la Nación.
	Ley 264 de 1963: por el cual se reglamenta la Ley 163 de 1959 sobre la defensa y conservación del patrimonio histórico y monumentos públicos de la Nación
	Decreto 1397 de 1996: Por el cual se crea al Comisión Nacional de Territorios Indígenas y la Mesa Permanente de Concertación con los pueblos y organizaciones indígenas y se dictan otras disposiciones. Modificado por el Decreto 1722 de 2007, publicado en el Diario Oficial No. 46.636 de 22 de mayo de 2007, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 11397 de 1996
	Decreto 833 de 2002: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de Patrimonio Arqueológico Nacional y se dictan otras disposiciones
	Ley 1185 de 2008: por el cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 - Ley General de Cultura - y se dictan otras disposiciones. Deroga los artículos 3°, 6°, 8°, 9°, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34 de la Ley 163 de 1959; modifica los artículos 151 a 159 del Decreto-Ley 1355 de 1970; modifica los artículos 1° a 9° del Decreto-Ley 2055 de 1970;

Categoría	Norma
	modifica el Título II de la Ley 397 de 1997, salvo los artículos 9°, 12 y 13, y modifica y adiciona los artículos 40, 49, 56, 60 y 62 de la Ley 397 de 1997
	Decreto Reglamentario 2941: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 modificada por la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza inmaterial
	Decreto 763 de 2009: por el cual se reglamentan parcialmente las leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de la Naturaleza Material.
Materiales de Construcción	Decreto 1541 de 1978: Título IV: De la explotación y ocupación de playas, cauces y lechos. (Decreto modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981)
	Decreto 2462 de 1989: explotación de materiales de construcción
	Decreto Reglamentario 2462 de 1989: por el cual se reglamenta parcialmente de Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la Legislación Ordinaria para la Ley 141 de 1961.
Sustancias peligrosas (Almacenamiento y/o transporte)	Decreto 1609 de 2002: Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Deroga las resoluciones 1705 de 1991 y 2025 de 1994 expedidas por el Ministerio de Transporte.
	Decreto 334 de 2002: Por el cual se establecen normas en materia de explosivos, para quienes importen o produzcan, comercialicen, distribuyan, almacenen, transporten, usen o vendan productos o insumos o materias primas que sin serlo individualmente, en conjunto, conforman sustancias explosivas y sobre los elementos que sin serlo de manera original, mediante un proceso pueden transformarse en explosivos.
Residuos Sólidos	Resolución 2309 de 1986: Residuos Especiales
	Decreto 541 de 1994: por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
	Documento CONPES 2750 de 1994
	Ley 253 de 1996: por medio del cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea y en vigencia desde el 31 de marzo de 1997.
	Ley 430 de 1998: Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referente a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 1096 de 2000 o RAS 2000
	Decreto 1713 de 2002: Gestión Integral de Residuos Sólidos. Modificado por el Decreto Nacional 838 de 2005
	Decreto 1609 de 2002: Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
	Decreto 1140 de 2003: unidades de almacenamiento

Categoría	Norma
	Decreto 4741 de 2005: por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
	Resolución 1362 de 2007: por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.
	Ley 1259 de 2008: Establece el Comparendo Ambiental como una estrategia para el adecuado manejo de los residuos sólidos.
	Ley 1252 de 2008: por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 472 de 2017: por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones.

2.6 Antecedentes

2.6.1 Justificación

Según el informe “Proyección Regional de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética, 2017, pág 13), la demanda de energía eléctrica en Colombia presentará un crecimiento para el período 2017 a 2031 del 2,99%. Este crecimiento se dará en gran medida debido a los compromisos ambientales adquiridos por Colombia en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), en la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (Ecdbc) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y en la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP), entre otras.

Dentro de los compromisos adquiridos por Colombia se encuentra la reducción en un 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al año 2030 (Departamento Nacional de Planeación, 2017, pág. 12), que tienen como fin contribuir con las medidas que se están adoptando en el mundo para luchar contra el cambio climático.

El incremento en la demanda de energía eléctrica, sumado a la meta de reducción de las emisiones de GEI, exigen el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de mecanismos de desarrollo limpios, entre los que se encuentran las fuentes convencionales y no convenciones de energía renovable.

El proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III, que como se explicó anteriormente, es una pequeña central hidroeléctrica a filo de agua, hace parte de los proyectos

considerados por las Naciones Unidas como mecanismo de desarrollo limpio que satisface criterios de sustentabilidad ambiental, entre otras cosas, porque no requieren la inundación de grandes territorios para la construcción de embalses, no generan desplazamiento de población local y contribuyen con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a que disminuyen el uso de combustibles fósiles para la cobertura de la demanda nacional energética.

La Pequeña Central Hidroeléctrica PCH Cocorná III, es una respuesta concreta a los desafíos planteados por el escenario energético nacional actual que, valiéndose del gran potencial de aprovechamiento hidroeléctrico del río Cocorná, debido a su geografía montañosa y a los altos niveles de precipitación anual de esta región, pretende contribuir con el aumento de la oferta de energía eléctrica del país a la vez que contribuye con el cumplimiento de las metas ambientales que se ha impuesto Colombia.

Adicionalmente, su implementación favorece el crecimiento económico del municipio de Cocorná y de la región, ya que inyecta capital a la región, genera empleos tanto de mano de obra calificada como no calificada, e impulsa las dinámicas económicas regionales. Además, mejora la capacidad para la gestión e implementación de planes y programas de interés socioambiental en el municipio y/o la región del oriente antioqueño.

2.6.2 Trámites y estudios previos

A continuación, se presenta un resumen de todo el proceso legal y técnico que se ha llevado a cabo para la formulación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Cocorná III.

Tabla 2-2. Relación de los trámites realizados en el marco del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III

Fecha	Radicado	Trámite
Enero 30 de 2020	112-0273	Cornare otorga el nuevo Permiso de Recolección de Especímenes.
Diciembre 27 de 2019	131-10927	Se solicita un nuevo Permiso de Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales.
Noviembre 09 de 2017	112-6168	Cornare otorga el Permiso de Recolección de Especímenes de Especies Silvestres solicitado en septiembre de 2017.
Septiembre 24 de 2017	112-1207	Luego de presentar un nuevo Permiso de Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales, Cornare da inicio al Trámite

Fecha	Radicado	Trámite
		solicitado por la representante legal de la Sociedad María Rojas e Hijos S.C.A.
Junio 14 de 2017	112-2777	Cornare archiva el trámite de Licencia Ambiental.
Mayo 23 de 2017	112-1658	Se hace una segunda entrega a Cornare de la información adicional solicitada
Abril 27 de 2017	112-1351	Se radica parte de la información adicional solicitada por Cornare
Agosto 19 de 2016	112-1066	Se suscribe Acta de Reunión de Solicitud de información Adicional a la información presentada en junio de 2016.
Junio 29 de 2016	112-0822	Cornare da inicio a la evaluación del trámite de licencia ambiental solicitado.
2016	112-2462	Se entrega a la Corporación para su evaluación el Estudio de impacto Ambiental para el proyecto hidroeléctrico Cocorná III.
Septiembre 12 de 2014	112-3063	Se solicita a Cornare el pronunciamiento sobre la necesidad de presentar un Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) para un proyecto hidroléctrico a ubicar en la cuenca del río Cocorná. En diciembre de 2004 Cornare responde que no es necesario presentar un DAA y por tanto para el trámite de licencia se debía proceder con la elaboración del EIA.

2.6.3 Otros proyectos en el área de influencia

Con el fin de identificar la existencia de otros proyectos hidroeléctricos o de otra índole en zonas cercanas al área de influencia del proyecto Cocorná III y, aquellos que se encuentran en etapa de licenciamiento ambiental, se hace la revisión de información primaria y secundaria. La información utilizada proviene de la Corporación ambiental, empresas de consultoría ambiental, empresas del sector hidroeléctrico e información primaria recopilada en la fase de campo de este EIA, los resultados encontrados se presentan en la Tabla 2-3.

Como se puede observar, hay cuatro pequeñas centrales hidroeléctricas y una línea de transmisión de energía. Los impactos ambientales acumulativos que pueden resultar de efectos sucesivos, incrementales y/o combinados debido al desarrollo de estos cinco proyectos y de la PCH Cocorná III se analizan en el Capítulo 8 Evaluación Ambiental de este EIA.

Tabla 2-3 Listado de proyectos ubicados en zonas cercanas el área de influencia del proyecto Cocorná III

Proyecto	Tipo de proyecto	Entidad encargada	Estado del proyecto
PCH Cocorná I	Pequeña Central Hidroeléctrica	Taborda Vélez y CIA S.A.S	Cuenta con licencia ambiental
PCH Cocorná II	Pequeña Central Hidroeléctrica	Taborda Vélez y CIA S.A.S	Cuenta con permiso de estudios de los recursos naturales con fines de aprovechamiento del Recurso Hídrico
PCH Pantágoras	Pequeña Central Hidroeléctrica	I-CONSULT S.A.	Presentó Estudio de Impacto Ambiental a CORNARE, quien niega la licencia
PCH El Popal	Pequeña Central Hidroeléctrica	LAREIF	En operación
San Lorenzo Sonsón	Línea de transmisión de Energía	EPM	En operación

Fuente: Praming, 2020 con información de CORNARE, LAREIF, ICONSULT S.A.S, EPM y Taborda Vélez y CIA S.A.S

Cómo se puede observar en la Tabla 2-3, la mayor parte de los proyectos son Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre el río Cocorná, todas ellas objeto de licenciamiento por la Corporación Ambiental CORNARE; adicionalmente, se encuentra la línea de transmisión de energía al 110 Kv San Lorenzo Sonsón que atraviesa el Río Cocorná entre las veredas El Jordán y El Coco que se encuentra en operación desde el año 2018.

Adicionalmente, se puede mencionar que se encuentran construidas dos Pequeñas Centrales Hidroeléctricas entre los municipios de Cocorná y Granada, se trata de los proyectos El Molino y San Matías; los dos se encuentran en las cuencas del río San Matías y no harán parte del actual análisis de impactos acumulativos al encontrarse sobre otra cuenca hidrográfica y no tener coincidencia con área de influencia de la PCH Cocorná III.

Al realizar consulta del Geoportal de la Agencia Nacional Minera respecto a la existencia de proyectos de este tipo en el territorio, se encuentran varias iniciativas en fase de exploración y no se encuentran adelantando Estudios de Impacto o evaluación ambiental, por esta razón se excluyen del presente análisis de impactos acumulativos.

2.6.4 Compatibilidad del proyecto con el Plan De Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Samaná Norte

2.6.4.1 Compatibilidad del proyecto con la zonificación ambiental del POMCA

Con el fin de evaluar la compatibilidad del proyecto Cocorná III con la zonificación ambiental del POMCA de la Cuenca del río Samaná Norte, aprobado bajo la resolución 112-7293-2017 de CORNARE, se presenta a continuación la zonificación ambiental del área de influencia.

La estructura de la zonificación ambiental del POMCA (MINAMBIENTE, 2017), se compone de dos categorías de ordenación: Conservación y Protección Ambiental, y Usos Múltiples. La categoría de conservación y protección ambiental incluye las áreas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la legislación vigente y las que hacen parte de la estructura ecológica principal (Decreto 3600 de 2007, capitulo II, artículo 4) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Mientras que la categoría de usos múltiples corresponde a zonas planificadas para la producción sostenible

Dentro de la categoría de Conservación y Protección, se encuentran tres zonas de uso y manejo definidas como: Áreas protegidas del SINAP, Áreas para Protección y Áreas para Restauración. Por su parte, dentro de la categoría de Uso Múltiple se encuentran tres zonas de uso y manejo, definidas como: Áreas de Restauración, Áreas para la Producción agrícola, ganadería y de uso sostenible de recursos naturales y Áreas Urbanas. A su vez cada zona de uso y manejo se divide en subzonas de uso y manejo. En la Tabla 2-4 se muestran de manera clara las categorías, zonas y subzonas de uso y manejo.

Tabla 2-4. Categorías de la zonificación ambiental de los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas (POMCA)

Categorías de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzonas de uso y manejo
Conservación y protección ambiental	Áreas protegidas	Áreas del SINAP
	Áreas de Protección	Áreas complementarias para la conservación
		Áreas de importancia ambiental
		Áreas con reglamentación especial
		Áreas de amenazas naturales
	Áreas de Restauración	Áreas de restauración ecológica
		Áreas de rehabilitación
Uso múltiple	Áreas de Restauración	Áreas de recuperación para el uso múltiple

Categorías de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzonas de uso y manejo
	Áreas para la Producción Agrícola, Ganadera y de Uso Sostenible de Recursos Naturales	Áreas agrícolas
		Áreas agrosilvopastoriles
	Áreas Urbanas	Áreas urbanas municipales y distritales

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014 (Guía POMCA)

En el área de influencia del proyecto Cocorná III, se tiene que la mayoría de la zonificación ambiental pertenece a la categoría de usos múltiples con el 59,3% del total del área, mientras que el 40,7% restante pertenece a la categoría de Conservación y Protección Ambiental (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 2-1).

Con respecto a las zonas de uso y manejo se encuentra que, para la categoría de Conservación y Protección Ambiental, las zonas con mayor proporción corresponden a áreas de restauración (30,1%), seguida de las áreas de protección (10,4%), mientras que las áreas protegidas solo representan el 0,2% (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En zonas de uso múltiple las áreas para la producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de Recursos Naturales ocupan el 53,2% del área total y las áreas de restauración el 6,1%.

Tabla 2-5. Área y proporción de las categorías de zonificación ambiental dentro del área de influencia

Categorías de ordenamiento	Área [ha]	Proporción [%]
Conservación y protección ambiental	844,3	40,7
Usos múltiples	1230,3	59,3
Total	**2074,6**	**100,0**

Tabla 2-6. Área y proporción de las zonas de uso y manejo de la zonificación ambiental dentro del área de influencia

Zonas de uso y manejo	Área [ha]	Proporción [%]
Áreas de Protección	216,6	10,4
Áreas de Restauración	750,3	36,2
Áreas para la producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de Recursos Naturales	1103,7	53,2
Áreas Protegidas	4,1	0,2
Total	**2074,6**	**100,0**

En la Tabla 2-7 se especifican las áreas y porcentajes correspondientes a las subzonas de uso y manejo, tanto para la categoría de Conservación y Protección, como para la categoría de Uso Múltiple.

Tabla 2-7. Área y proporción de las subzonas de uso y manejo de la zonificación ambiental dentro del área de influencia

Sub zona de uso y manejo	Área [ha]	Proporción [%]
Áreas agrícolas	65,2	3,1
Áreas Agrosilvopastoriles	1038,5	50,1
Áreas de importancia Ambiental	216,6	10,4
Áreas de recuperación para el uso múltiple	126,6	6,1
Áreas de restauración ecológica	623,7	30,1
Áreas SINAP	4,1	0,2
Total	**2074,6**	**100,0**

El 0,2% del área de influencia que pertenece a las áreas protegidas del SINAP corresponde al Distrito Regional de Manejo Integrado del Sistema Viaho Guayabal, el cual no será intervenido por las obras del proyecto y se encuentra en uno de los extremos del área de influencia, ver Figura 2-1.

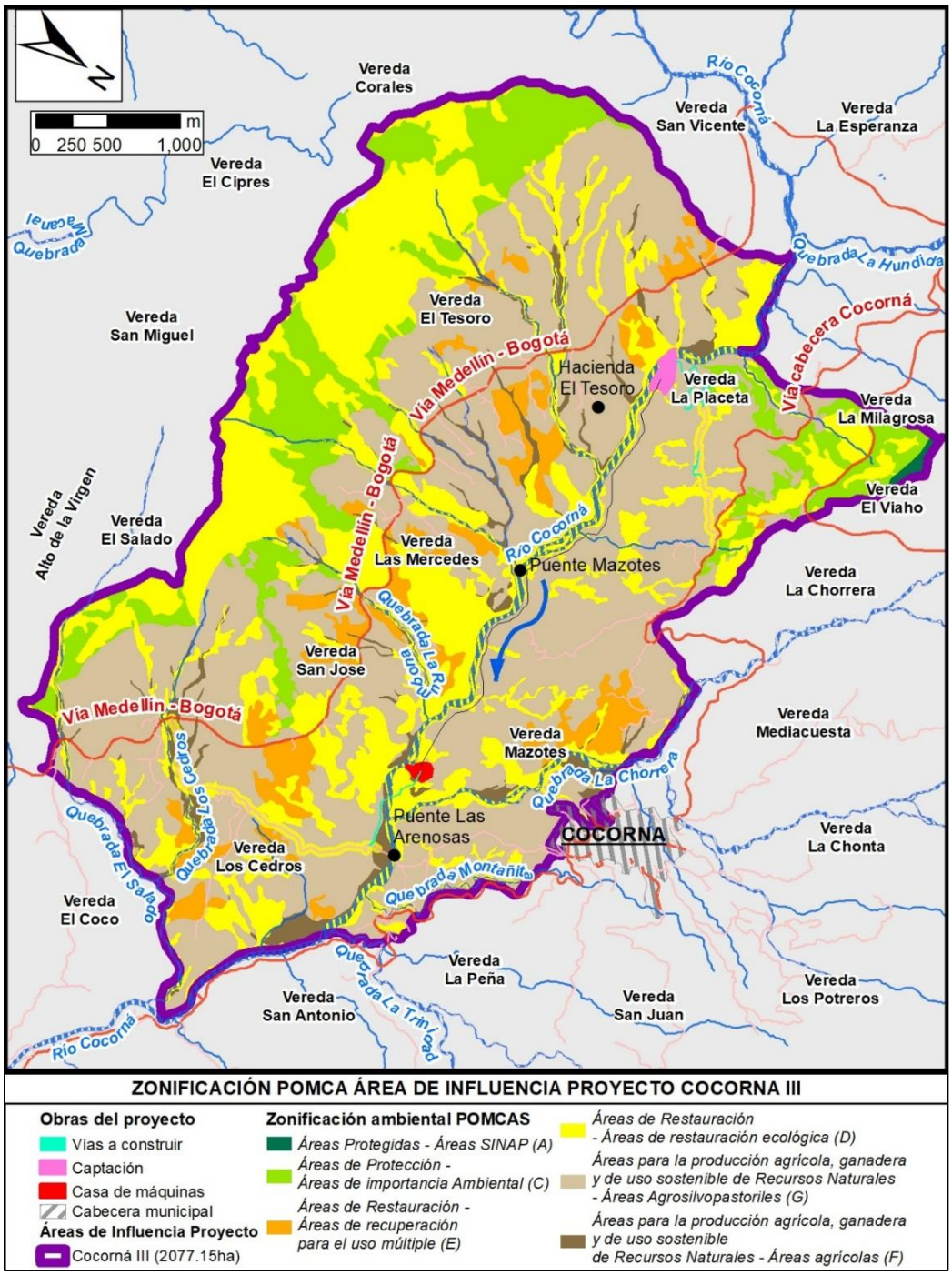


Figura 2-1. Zonificación ambiental del área de influencia con respecto a la zonificación ambiental del POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte

Como se puede observar en las tablas antes mencionadas y en la Figura 2-1, el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico en el área de influencia, es compatible con la zonificación del POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte. Dentro de los planes

de manejo que el proyecto Cocorná III propondrá para la mitigación, compensación y prevención de los impactos ambientales, se deberán ejecutar medidas para la conservación y protección de la Cuenca del Río Cocorná, especialmente en el área de intervención directa por las obras, pero también de las zonas de nacimientos de agua, corredores hídricos, áreas de protección y demás ecosistemas estratégicos que ayuden a proteger el recurso hídrico y a garantizar su oferta y regulación.

2.6.4.2 Compatibilidad del proyecto con las líneas, programas y proyectos formulados en el POMCA

A continuación, se presenta una revisión enfocada en la evaluación de la compatibilidad del proyecto Cocorná III con los proyectos incluidos en el POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte.

En el documento de Formulación del POMCA se incluye una matriz que contiene las líneas estratégicas, y sus respectivos programas y proyectos para la solución de las diferentes problemáticas identificadas en la cuenca. La primera línea estratégica, ***Planificación y Ordenamiento Territorial***, plantea como programa la armonización de los modelos de ordenamiento territorial que compatibilizan el uso y aprovechamiento de la oferta ambiental entre actividades productivas y las prioridades sociales y, como proyecto, la articulación del ordenamiento territorial al ordenamiento ambiental. El proyecto Cocorná III es compatible con este proyecto y su línea estratégica, en la medida que los estudios ambientales que se desarrollarán como parte del proyecto hidroeléctrico, arrojarán información útil para la planificación y el ordenamiento del río Cocorná, y el posible aprovechamiento sostenible de la oferta ecosistémica existente. Así mismo, debido a las transferencias del sector eléctrico que el municipio de Cocorná recibirá anualmente gracias a la operación del proyecto, el ente territorial mejorará su capacidad económica para la gestión e implementación de planes y programas de interés socioambiental en el municipio y/o la región del oriente antioqueño.

La segunda línea estratégica, ***Gobernanza Ambiental***, en el programa áreas protegidas reconocidas por su importancia ecosistémica y con planes de ordenación, manejo y compensación para su protección y conservación, se plantea como proyecto el análisis de la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico de las microcuencas abastecedoras e identificación de potenciales fuentes de abastecimiento en la cuenca. El proyecto Cocorná III es compatible con el proyecto, en la medida que se realiza una evaluación del potencial hídrico de la zona, lo que permite identificar las microcuencas potenciales de abastecimiento del recurso hídrico. Adicionalmente, los planes de manejo del proyecto se enfocan en gran medida a la conservación y protección de estas microcuencas por su importancia en el aprovisionamiento de los servicios ecosistémicos, como es el agua potable.

Con respecto a la tercera línea estratégica, ***Funcionalidad Ambiental***, para los dos programas planteados 1) uso de tecnologías adecuadas para el aprovechamiento y uso sostenible de la oferta ambiental y 2) fortalecer estrategias sectoriales para el manejo integrado del recurso hídrico en términos de calidad del agua de fuentes

superficiales, conservación de la oferta disponible, uso eficiente y ahorro del agua, se plantean seis proyectos, de los cuales todos son compatibles con el proyecto Cocorná III. De acuerdo con el Decreto 1900 de 2006, el proyecto Cocorná III por requerir licencia ambiental, deberá destinar el 1% del total de su inversión, para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la fuente hídrica afectada, es decir el proyecto deberá invertir el 1% de su inversión total, en la implementación del POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte. Específicamente estos recursos se podrían destinar a la protección y conservación de la Cuenca del Río Cocorná, a la parte alta de la cuenca en su nacimiento, a las rondas hídricas del río o de sus afluentes y a zonas con vegetación boscosa o con vegetación secundaria que presente fragmentación, entre otras opciones.

Así mismo, proyectos como fomentar e implementar prácticas de uso y manejo sostenible de los recursos naturales asociados a los sistemas de producción agropecuario; recuperar, rehabilitar y restaurar áreas afectadas por el uso intensivo del suelo y de la oferta natural identificadas en la zonificación ambiental del POMCA y realizar la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la cuenca, son proyectos que desde la planificación y la formulación e implementación de planes de manejo del proyecto Cocorná III, se promoverán pues son fundamentales para asegurar la sostenibilidad ambiental del mismo.

Por último, en el capítulo de Prospectiva y Zonificación Ambiental del POMCA, se plantea como escenario apuesta el del uso de energías alternativas y sostenibles sin desconocer la oportunidad de aprovechamiento del recurso hídrico, pensados en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de la mano de las comunidades, y teniendo en cuenta la “hidrosostenibilidad” en armonía con el medio ambiente, sector productivo y necesidades de la comunidad.

Lo anterior denota la compatibilidad del proyecto Cocorná III con la planificación y ordenamiento de la cuenca, siempre y cuando se cumpla con los requerimientos ambientales y se esté en concordancia con las herramientas de planificación existentes.

En conclusión, el proyecto Cocorná III es compatible con los proyectos incluidos en el POMCA de la Cuenca del Río Samaná Norte, debido a que su planificación y diseño, incluyendo los planes de manejo que se deberán formular y ejecutar para la compensación, prevención y mitigación de los impactos ambientales que se puedan generar, se relacionan directamente con la solución a las necesidades o problemáticas de la cuenca.

2.6.5 Restricciones ambientales existentes en la zona de estudio

Las restricciones ambientales se relacionan con dos factores principalmente: 1) la presencia de alguna categoría de áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), de carácter nacional, regional o municipal, y 2) las restricciones que se dan en la clasificación, regulación y zonificación del uso del suelo del

municipio, contenidos en el Esquema/Plan Básico de Ordenamiento Territorial y acuerdos de la Autoridad Ambiental, y que tienen que ver con el área de influencia.

El área de influencia del proyecto, ver Capítulo 4 de este EIA, tiene un 0,2% de su territorio en áreas protegidas del SINAP, afirmación que se puede realizar luego de revisar la zonificación ambiental del POMCA de la cuenca hidrográfica del río Samaná Norte, ver numeral 2.6.4.1, Figura 2-1, Tabla 2-5, Tabla 2-6 y Tabla 2-7.

Así mismo, a partir de la revisión de la cartografía oficial del portal geográfico del Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC, 2019) y de la Información Cartográfica Temática de Cornare (2020), se verificó nuevamente la existencia de dichas áreas (ver Figura 2-2 y Figura 2-3) encontrando que 0,27 hectáreas del área de influencia hacen parte de las áreas con prioridad de conservación nacional (CONPES), específicamente de la unidad Nor Andina Montano Valle Ma Orobiomas medios de los Andes y 4,15 hectáreas del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas por el Sistema Viaho Guayabal clasificado en la categoría de Distrito Regional de Manejo Integrado, para un total de 4,42 hectáreas correspondientes al 0,2% del área de influencia. No se encontraron áreas importantes para la conservación de aves (AICAS). Los resultados de la consulta realizada en el portal mencionado, se presentan en la Figura 2-4.

Con respecto a las restricciones por uso del suelo, fue consultado el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Cocorná y los acuerdos de Cornare. En estos se encontraron restricciones en los usos del suelo por protección de rondas hídricas (EOT Cocorná y Acuerdo 251 de 2011 de Cornare), áreas con pendientes superiores al 75% (Acuerdo 250 de 2011 de Cornare) y áreas con amenaza alta por movimientos en masa (EOT Cocorná y Acuerdo 250 de 2011 de Cornare); esto dadas las características de alta pendiente en algunas zonas y la presencia de cuerpos de agua dentro del área de estudio.

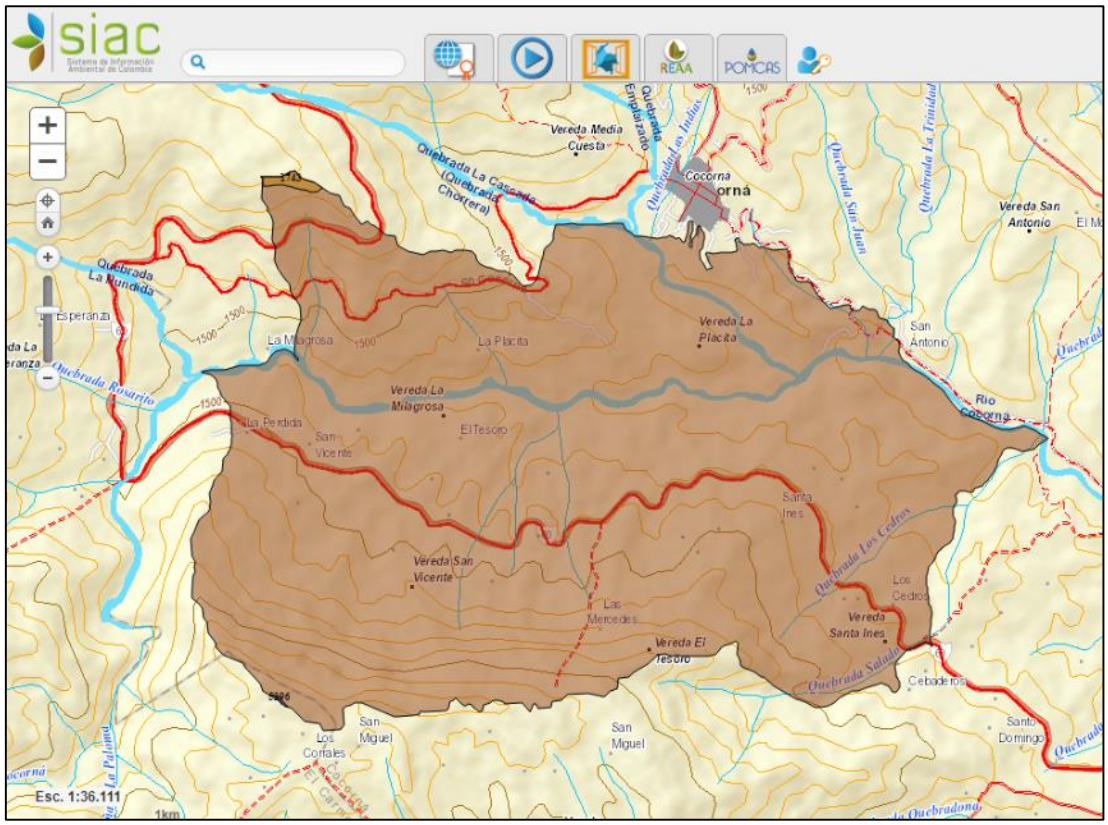


Figura 2-2. Consulta en el portal del SIAC de las restricciones ambientales en el área de influencia del proyecto (polígono de color café)

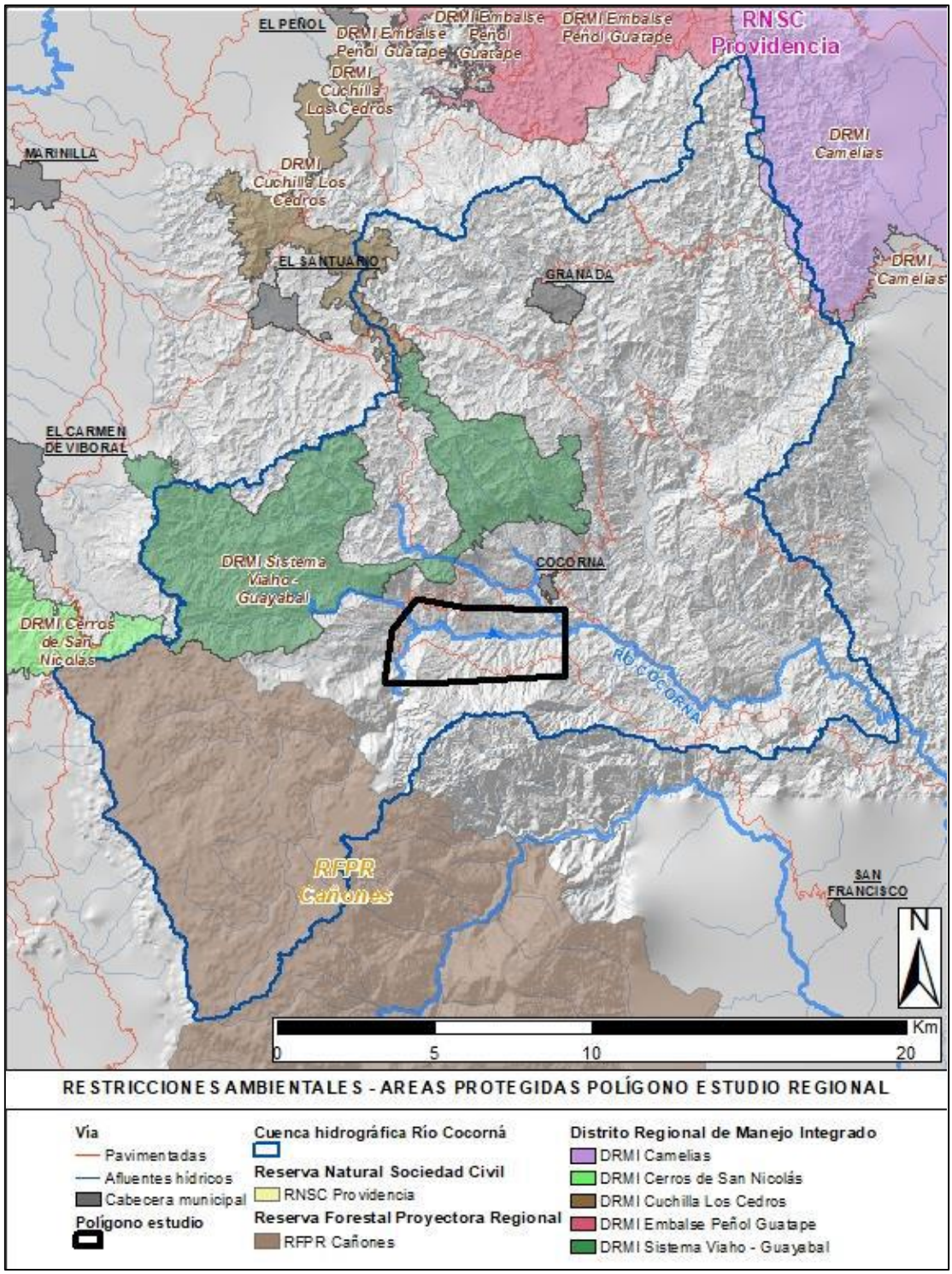
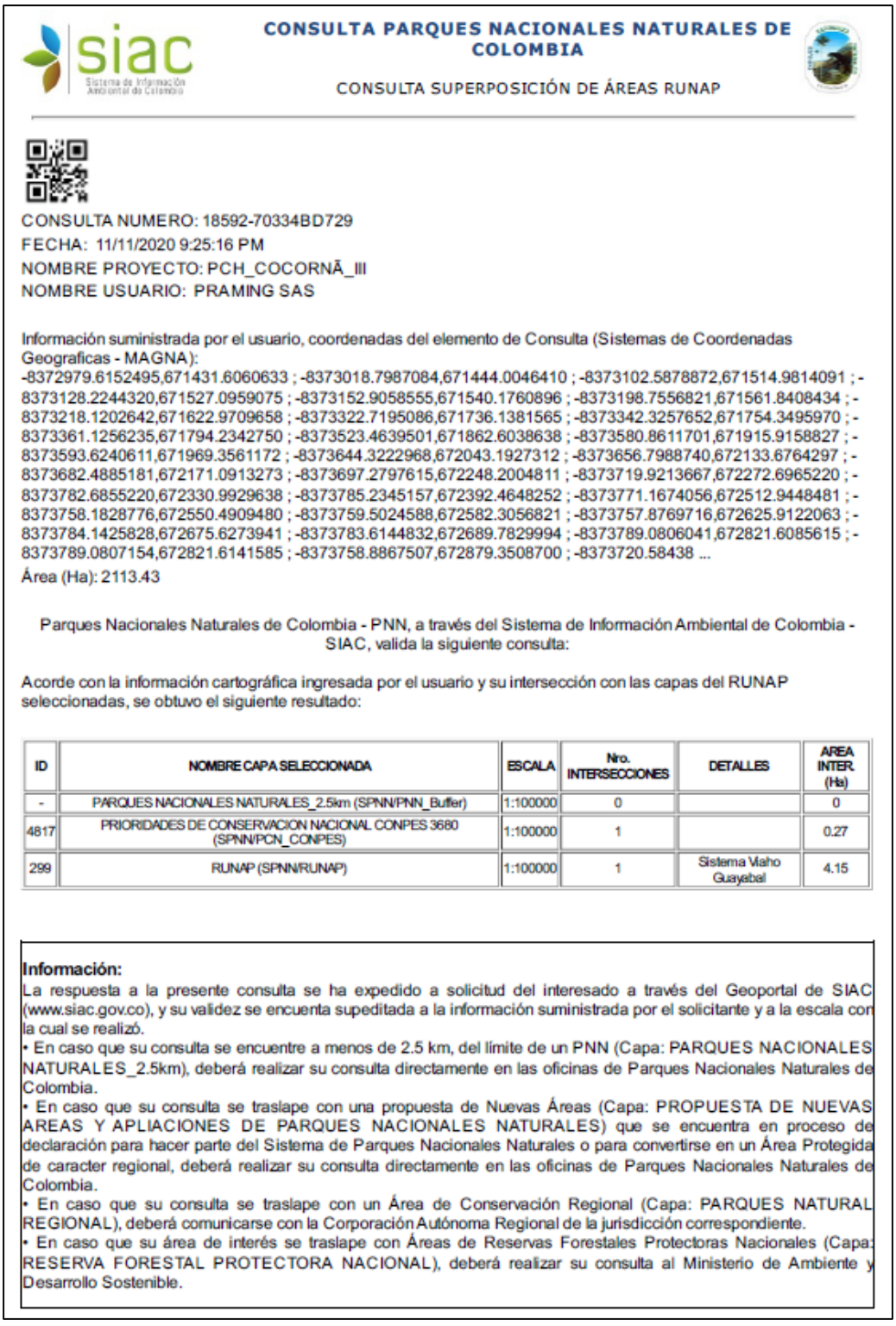


Figura 2-3. Restricciones ambientales de cartografía temática de Cornare en el polígono de estudio de los recursos naturales aprobado por la Corporación



CONSULTA PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

CONSULTA SUPERPOSICIÓN DE ÁREAS RUNAP

CONSULTA NUMERO: 18592-70334BD729
FECHA: 11/11/2020 9:25:16 PM
NOMBRE PROYECTO: PCH_COCORNÃ_III
NOMBRE USUARIO: PRAMING SAS

Información suministrada por el usuario, coordenadas del elemento de Consulta (Sistemas de Coordenadas Geograficas - MAGNA):
-8372979.6152495,671431.6060633 ; -8373018.7987084,671444.0046410 ; -8373102.5878872,671514.9814091 ; -8373128.2244320,671527.0959075 ; -8373152.9058555,671540.1760896 ; -8373198.7556821,671561.8408434 ; -8373218.1202642,671622.9709658 ; -8373322.7195086,671736.1381565 ; -8373342.3257652,671754.3495970 ; -8373361.1256235,671794.2342750 ; -8373523.4639501,671862.6038638 ; -8373580.8611701,671915.9158827 ; -8373593.6240611,671969.3561172 ; -8373644.3222968,672043.1927312 ; -8373656.7988740,672133.6764297 ; -8373682.4885181,672171.0913273 ; -8373697.2797615,672248.2004811 ; -8373719.9213667,672272.6965220 ; -8373782.6855220,672330.9929638 ; -8373785.2345157,672392.4648252 ; -8373771.1674056,672512.9448481 ; -8373758.1828776,672550.4909480 ; -8373759.5024588,672582.3056821 ; -8373757.8769716,672625.9122063 ; -8373784.1425828,672675.6273941 ; -8373783.6144832,672689.7829994 ; -8373789.0806041,672821.6085615 ; -8373789.0807154,672821.6141585 ; -8373758.8867507,672879.3508700 ; -8373720.58438 ...
Área (Ha): 2113.43

Parques Nacionales Naturales de Colombia - PNN, a través del Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC, valida la siguiente consulta:

Acorde con la información cartográfica ingresada por el usuario y su intersección con las capas del RUNAP seleccionadas, se obtuvo el siguiente resultado:

ID	NOMBRE CAPA SELECCIONADA	ESCALA	Nro. INTERSECCIONES	DETALLES	AREA INTER. (Ha)
-	PARQUES NACIONALES NATURALES_2.5km (SPNN/PNN_Buffer)	1:100000	0		0
4817	PRIORIDADES DE CONSERVACION NACIONAL CONPES 3680 (SPNN/PCN_CONPES)	1:100000	1		0.27
299	RUNAP (SPNN/RUNAP)	1:100000	1	Sistema Viaho Guayabal	4.15

Información:
La respuesta a la presente consulta se ha expedido a solicitud del interesado a través del Geoportal de SIAC (www.siac.gov.co), y su validez se encuenta supeditada a la información suministrada por el solicitante y a la escala con la cual se realizó.
• En caso que su consulta se encuentre a menos de 2.5 km, del limite de un PNN (Capa: PARQUES NACIONALES NATURALES_2.5km), deberá realizar su consulta directamente en las oficinas de Parques Nacionales Naturales de Colombia.
• En caso que su consulta se traslape con una propuesta de Nuevas Áreas (Capa: PROPUESTA DE NUEVAS AREAS Y APLIACIONES DE PARQUES NACIONALES NATURALES) que se encuentra en proceso de declaración para hacer parte del Sistema de Parques Nacionales Naturales o para convertirse en un Área Protegida de caracter regional, deberá realizar su consulta directamente en las oficinas de Parques Nacionales Naturales de Colombia.
• En caso que su consulta se traslape con un Área de Conservación Regional (Capa: PARQUES NATURAL REGIONAL), deberá comunicarse con la Corporación Autónoma Regional de la jurisdicción correspondiente.
• En caso que su área de interés se traslape con Áreas de Reservas Forestales Protectoras Nacionales (Capa: RESERVA FORESTAL PROTECTORA NACIONAL), deberá realizar su consulta al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Figura 2-4. Resultados de la consulta en el portal del SIAC

2.7 Alcances

El Estudio de Impacto Ambiental que en este documento se presenta, tiene como fin dar cumplimiento a los Términos de Referencia adaptados por Cornare en el 2017 y que tienen como base los TdR14 de 2017 (MinAmbiente & ANLA, 2017), a la Metodología General para la elaboración y presentación de Estudios ambientales (MinAmbiente, 2018), al Decreto 1076 de 2015 (MADS, 2015) y demás normas que lo complementan o modifican.

El alcance del Estudio se ha dividido en cinco aspectos: (1) el tipo de información, (2) el alcance dimensionado por el nivel de profundización en la ingeniería del proyecto, (3) el alcance en términos de la escala espacial utilizada en la cartografía temática asociada con el área de influencia, (4) el alcance en términos de la escala temporal de algunas variables y (5) el alcance de tipo legal.

2.7.1 Tipo de información

Para el desarrollo del estudio se contó con información tanto secundaria como primaria. En términos generales se consultaron las siguientes fuentes:

- Información cartográfica
  - La cartografía básica escala 1:10.000 de las planchas cercanas a las obras del proyecto (147IVD3, 147IVD4, 167IIB1, 167IIB2, 148IIC3 y 168IA1), esta incluye información de curvas de nivel, vías, orto-mosaicos entre otras; y en escala 1:100.000 para tratar vistas a nivel municipal y departamental adquiridas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
  - Topobatimetría levantada para este EIA en los años 2018 y 2020.
- General
  - Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Samaná Norte, aprobado bajo la resolución 112-7293-2017 de Cornare.
  - Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA en proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica (TdR-014), del MinAmbiente y ANLA, 2017 (se consultó la adaptación realizada por CORNARE).
  - Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales del MinAmbiente y ANLA del 2018.
- Geotecnia:
  - Sismicidad Histórica oficial del Servicio Geológico Colombiano
  - Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia presentado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en 2009.

  - Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes de 2010.

- Suelos:
  - Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Antioquia. Elaborado por el IGAC en el año 2007.
- Geomorfología
  - Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa. Esc 1:100.000 por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en 2014 para la Plancha 167 – Sonsón, ejecutado por la UPTC.
- Geología
  - Ingeominas informe de 2005 sobre la Geología de la Plancha 167 Sonsón.
- Recurso Hídrico
  - Información física climatológica e hidrológica del IDEAM y de Cenicafé: información de estaciones ubicadas en la Cuenca del Río Samaná Norte.
  - Información de concesiones y permisos de vertimiento de Cornare, en jurisdicción de la Cuenca del Río Cocorná
  - Metodología de las Empresas Públicas de Medellín para la estimación del caudal ambiental (2012), basada en la metodología de Grecco (2005).
- Información física de calidad de aire y ruido: Información secundaria.
- Información Biótica
  - Inventario de vertebrados en la región oriental del departamento de Antioquia de Cornare.
  - Documento CITES, Apéndices I, II y III. Convención Sobre El Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre
  - Documento de Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia del IDEAM, IAvH e IGAC.
  - Lista de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana del MADS.
  - Lista roja de especies amenazadas IUCN
  - Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra del IDEAM
  - Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB).
- Información socioeconómica: EOT vigente del municipio de Cocorná, información del SISBÉN del año 2018, planes de Desarrollo Municipal, información de Catastro Departamental de Antioquia, DANE, Anuario Estadístico de Antioquia, entre otra información.

2.7.2 Escala espacial de la ingeniería

Las obras de ingeniería se han dimensionado en escala **1:500**, partiendo de los datos de cartografía básica ya mencionada anteriormente.

2.7.3 Escala espacial de la cartografía temática

La información temática proviene de consultas en los servicios cartográficos en línea de diferentes instituciones (SIAC, IDEAM, REAA, Estudio Suelos IGAC) con escalas que van desde los 1:100.000 hasta los 1:25.000 dependiendo de la temática abordada. Dicha información fue ajustada con base en la exploración de campo en las áreas de influencia de cada componente para llegar a escalas inferiores, es este el caso de la litología, las estructuras geológicas y la precipitación.

Otras variables, como la localización de los sitios de muestreo, corresponden a información georreferenciada a partir de sistemas de navegación por satélite (GNSS por sus siglas en inglés) con error de posicionamiento en planta de ±5m.

2.7.4 Escala temporal

La información cartográfica obtenida por medio de consultas en los geo-servicios mencionados anteriormente, al igual que los datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se consideran recientes, pero no se conoce la fecha exacta en la que se elaboró dicha información. Sin embargo, los datos temáticos actualizados a partir de información de campo son actuales (años 2019 y 2020).

En el caso de las variables que cambian sustancialmente en escalas de tiempo cortas (del orden de 1 día), como algunas de las climatológicas e hidrológicas, se han analizado en una escala diaria. También se hicieron análisis en escalas mensuales y anuales.

2.7.5 Alcance legal

Por ser una central hidroeléctrica localizado en una Zona Interconectada, El Proyecto requiere solicitar licencia ambiental. El ámbito legal de ese licenciamiento corresponde a la CAR, por cuanto su capacidad instalada no supera los 100 MW. Por lo tanto, este Estudio de Impacto Ambiental se rigió por los Términos de Referencia de Cornare, adaptados de los TdR014 del MinAmbiente y ANLA (2017) y emitidos por la CAR para la “Construcción y operación de centrales hidroeléctricas”, y en el Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales del año 2018 también del MinAmbiente y ANLA.

2.7.6 Sistema de coordenadas

El sistema cartográfico por coordenada corresponde al sistema con Datum MAGNA con origen central denominado como Magna Sirgas Origen Bogotá (EPSG: 3116).

2.8 Metodología

Para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, se conforma un grupo interdisciplinario con profesionales de amplia experiencia y conocimiento en la evaluación de impactos ambientales en proyectos hidroeléctricos a filo de agua: ingenieros civiles, ingenieros sanitarios, biólogos, ingenieros forestales, antropólogos, sociólogos, geólogos, entre profesionales de otras áreas, quienes, en primer lugar, recopilan y analizan información secundaria y levantan y procesan información primaria para la posterior caracterización de la oferta y demanda ambiental del área de estudio, información denominada línea base. Esta caracterización comprende el conjunto de características estructurales y funcionales de los componentes del medio natural: físico, biótico y socioeconómico y cultural, que determinan la susceptibilidad de la zona de interés a los cambios inducidos, ya sean originados por procesos naturales o antrópicos.

Los profesionales del grupo analizan y corroboran la información cartográfica y bibliográfica que consideran pertinente para el estudio realizado, con el trabajo de campo en el que levantan información primaria relacionada con la toma de muestras de agua, aire, ruido, sedimentos, colección de especies de flora y fauna, entre otra información, para su posterior uso en la identificación y valoración de los impactos que el proyecto puede generar sobre el área de influencia y en la formulación de los planes de manejo ambiental para prevenir, corregir, mitigar o compensar dichos impactos.

A continuación, se presenta en forma detallada la metodología seguida en cada componente del Estudio de Impacto Ambiental.

2.8.1 Caracterización del Medio Abiótico

2.8.1.1 Geología, Geomorfología y Geotecnia

Para el desarrollo de la etapa de caracterización geológica-geomorfológica-geotécnica del Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III, ubicado entre las veredas San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazotes y Montañita del municipio de Cocorná y a lo largo de la Cuenca del Río Cocorná; se parte de la ubicación geográfica de las obras del proyecto para realizar una adecuada caracterización geoambiental es decir, conocer sus condiciones de relieve, marco geológico, evolución geomorfológica y procesos morfodinámicos para el conocimiento integral del área de estudio, el esquema metodológico planteado se muestra en la Figura 2-5.

Inicialmente se realiza una recopilación de información existente de la zona de estudio, como la base topográfica detallada, los documentos existentes de estudios ya realizados en la zona que contengan información geotécnica, geológica, geomorfológica del área, esta puede ser proveniente de diferentes entidades tales como SGC, CAR´s, IDEAM, IGAC, Universidades Públicas y Privadas, Empresas Consultoras, además de informes que muestren la posible ocurrencia de diferentes

eventos o procesos morfodinámicos en los últimos años, como avenidas torrenciales, deslizamientos, sismos o daños en las construcciones e infraestructura, entre otros. Por último, se realiza una recopilación de fotografías aéreas, modelos digitales de elevación (DEM por sus siglas en inglés) con un tamaño de pixel mínimo de 12,5 x 12,5 m correspondiente al satélite ALOS-PALSAR (ALOS-1 Phased array type L-Band Syntetic Aperture Radar) de JAXA/METI, obtenida a partir del geovisor Alaska Satellite Facility - ASF de NASA. Posteriormente, la digitalización cartográfica y procesamiento del DEM se realiza por medio del software ArcGIS 10.2 que posee algoritmos especializados para el análisis espacial y pre-procesamiento de las imágenes Raster. Además se generan los mapas de sombras, con apoyo de la cartografía básica a escala 1:10.000, con curvas de nivel a 10 m suministradaas por el IGAC y finalmente por medio de recorridos de campo se realiza la identificación de las particularidades geomorfológicas, geológicas y morfodinámicas más sobresalientes de la zona de estudio.

Los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos deben estar enmarcados dentro de la unidad de análisis definida por el grupo de profesionales involucrados en el proyecto a partir de las características del medio natural. El levantamiento geológico de campo realizado para el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III, es la fuente que permite recopilar, con el mayor nivel de detalle, la información primaria para caracterizar la zona y en este caso consiste en recorridos a pie a través de vías, caminos y quebradas en las zonas de captación, conducción en superficie, casa de máquinas, descarga, zonas de manejo de escombros y material de excavación que constituyen las obras del proyecto. De igual manera, se realizan recorridos de campo generales en el área de estudio del proyecto. Para la caracterización de los geo-materiales encontrados durante los recorridos se utilizaron los siguientes sistemas de clasificación:

- Rocas Ígneas: clasificación Planteada por (Streckeisen, 1974).
- Rocas Metamórficas: Sistema de clasificación planteada por la subcomisión de clasificación de rocas metamórficas (IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rock, 2007).
- Perfiles de Meteorización: Sistema de clasificación planteado por (Dearman, 1991).

Para el levantamiento de la información base de la zona de estudio, la geomorfología constituye el factor más importante para el análisis de la evolución del territorio y su relación con la ocurrencia de procesos que modifican el relieve; esto debido a que la cartografía geomorfológica registra información de las formas del terreno, los materiales que las constituyen y los procesos superficiales que los afectan, todo a través del relacionamiento de información a partir de los datos concernientes a la morfometría y morfología del terreno, así como con la morfodinámica y morfogénesis (ver

Tabla 2-8); esta caracterización es pertinente para generar capas de información de la geomorfología del terreno.

Tabla 2-8 Atributos geomorfológicos

Atributo Geomorfológico	Descripción
Morfología	Geometría del relieve. Incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.
Morfometría	Análisis cuantitativo de la superficie del terreno en términos de medidas de longitud, área, forma y pendiente.
Morfogénesis	Tiene que ver con la disposición, composición y dinámica interna de la tierra.
Morfodinámica	Estudia los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena relacionada con actividad de agentes como el agua y la acción de la gravedad, que modifica las geoformas.

Al igual que con la geomorfología, las unidades geológicas de superficie son uno de los factores condicionantes más importantes en la inestabilidad de las laderas, por lo que es necesario obtener y mapear datos relacionados con sus características. La geología superficial se refiere al material expuesto en la superficie del terreno, el cual puede corresponder a suelos o rocas, clasificados así desde el punto de vista ingenieril (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2017).

La caracterización geotécnica consiste en determinar la distribución espacial de las formaciones superficiales que se encuentran en el área de estudio, determinando los parámetros físicos de cada estrato de suelo. El análisis debe incluir los respectivos análisis de estabilidad en condición estática, seudoestática y cinemática de los taludes de corte y lleno, en estados de variación de nivel freático y saturación total del material, para las vías que se proyecten y las zonas de depósitos, a partir de los perfiles geológico – geotécnicos detallados.

La caracterización contempla los siguientes pasos generales:

- Recopilación de información existente
- Análisis detallado de la base topográfica existente mediante la elaboración de perfiles topográficos.
- Realización de visitas de campo para el reconocimiento de las formaciones superficiales.
- Descripción detallada y sistemática de afloramientos.
- Levantamiento cuidadoso del perfil de meteorización y los depósitos de vertiente o aluviales involucrados.
- Identificación de los procesos morfodinámicos presentes en la zona de influencia del proyecto.
- Exploración del subsuelo a través de apiques y toma de muestras para determinar parámetros geomecánicos.

- Exploraciones geofísicas por medio de sondeos eléctricos verticales.

Figura 2-5 Esquema metodológico geología, geomorfología y geotecnia.
Fuente: modificado a partir de (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2017)

2.8.1.2 Paisaje

El componente del paisaje presenta literatura metodológica diversa para su descripción y análisis con multiplicidad en grados de complejidad dependientes de la finalidad a la que está orientada su estudio.

Con lineamientos que resaltan lo que percibe un observador dependiendo de su posición; o por el contrario abordando la descripción particular de los rasgos y factores conformantes provenientes de los medios que son parte del ambiente; las metodologías de análisis del paisaje mantienen presente cargas de interpretaciones subjetivas en mayor o menor medida a considerar. El nivel de subjetividad podrá ser aceptado teniendo en cuenta la finalidad del estudio abordado, en donde las temáticas pueden ser desde problemáticas de gestión del territorio como la conservación de territorios con una actividad o uso en particular.

Dentro del universo de metodologías de estudio para acometer la amplia realidad del paisaje como componente ambiental dentro del medio físico podemos identificar dos grandes grupos de estudio de acuerdo con la literatura.

El primero, enfocado hacia los aspectos estéticos que conforman el paisaje y de la percepción que causa en un observador que lo admira se denomina de **paisaje visua**l, este grupo de metodologías tiene en cuenta las vistas, los panoramas y escenarios que ofrece el paisaje durante una toma de contacto directa. Por otro lado, el grupo de metodologías que abarca el enfoque denominado **paisaje total** se centra en la integración de fatores que darán cuenta de la acción continuada en la conformación del paisaje por parte de los componentes presentes en los medios físico, biótico y socioeconómico.

Aunque presentan una disyuntiva en sus enforque tanto las metodologías de paisaje total como las de paisaje visual tienen coincidencia en enumerar los factores diferenciadores y determinantes en la conformación del paisaje Tabla 2-9; así como en afirmar que las combinaciones únicas entre de dichos factores son tan amplias que con muy poca incertidumbre se puede afirmar que no es posible encontrar paisajes totalmente iguales.

Tabla 2-9. Factores determinantes del paisaje

Factor determinante del pasaje	Incidencia
Relieve	Forma del territorio, es la base que ocupan y modifican los demás factores.
Litosfera	Las propiedades de las rocas determinan su comportamiento frente a los procesos formadores del relieve.
Drenajes	Agente activo en la modificación del relieve y la litosfera.
Procesos morfológicos	

Factor determinante del pasaje	Incidencia
Vegetación	Aporte en la apariencia natural del paisaje lo cual para algunos observadores sea sinónimo de belleza
Fauna	Aporte complementario al factor de vegetación
Acciones antrópicas	Actividades y asentamientos que modifican el aspecto del paisaje.

El análisis del paisaje para el desarrollo del presente estudio presenta un enfoque desde el punto de vista de las metodologías del paisaje total tomando como punto de partida los elementos destacables que dan forma al paisaje actual. Para diferenciar las combinaciones posibles de estos factores serán definidas unidades de paisaje acotadas espacialmente dentro zona de estudio o territorio visual.

En otras palabras, el área de análisis para el paisaje será delimitada como la zona desde la cual las obras del proyecto son visibles y será subdividida de acuerdo al concepto de rangos de escala visual (ver Tabla 2-11). Dentro de esta área de análisis serán definidas las unidades de paisaje como combinación de dos o más factores determinantes teniendo en cuenta que deben estar presentes aspectos físicos (relieve, geomorfología, etc), bióticos (flora, fauna, ecosistemas, etc) y socioeconómicos (población, acciones antrópicas, etc).

Es importante resaltar que la secuencia de aplicación de los procedimientos descritos en este apartado metodológico corresponde al ensamble de estrategias considerado como adecuado y pertinente para un estudio de impacto ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III.

La caracterización del componente de paisaje estará fundamentada principalmente en información secundaria (ver Tabla 2-10) debido a que las áreas de análisis presentan una gran extensión. Sin embargo, mediante visitas y recorridos de campo de zonas cercanas al proyecto es posible verificar las condiciones de las unidades definidas y los calificativos asignados a cada una.

Tabla 2-10. Fuentes de información para análisis del paisaje

Ítem	Descripción
Modelo digital de elevación del terreno (MDT)	Representación del relieve de la zona de análisis. De este es posible describir las características del terreno e identificar procesos de modificación actuantes en el mismo.
Mapa de coberturas	Coberturas terrestres obtenidas mediante metodología Corine Land Cover. Estas dan evidencia tanto de la vegetación presente, el agua circundante y las actuaciones humanas en el territorio estudiado.

Ítem	Descripción
Ecosistemas	Indicativos de las zonas biológicas, Indicador de la presencia de especies de fauna.
Obras del proyecto	Áreas a ser intervenidas. Esta intervención modificaras las características presentes del paisaje.

Las fuentes de información tienen representación tanto del medio socioeconómico como del biótico por medio del análisis de las coberturas y los ecosistemas. El medio abiótico está incluido dentro del análisis del MDT. De estos datos es posible definir por una parte el territorio visual o área de análisis mediante el uso de métodos automáticos en software de sistemas de información geográfica. Además, se delimitan las unidades del paisaje presentes en este territorio visual teniendo en cuenta que un observador presente en ellas tiene la posibilidad factible o no de visualizar las obras del proyecto con mayor o menor claridad en función de la distancia y condiciones climáticas del momento de observación.

En ese orden de ideas también se considerar que las unidades del paisaje tendrán una mayor o menor intervención visual de su entorno en proporción a la cercanía o distanciamiento de las obras respectivamente.

El criterio mencionado será analizado adaptando los conceptos de visibilidad de STEINIZ (1979) y VAN DER HAM (DE VEER Y BURROUGH, 1978) de la siguiente forma:

Tabla 2-11. Rangos de escala visual

Rango de distanciamiento a obras	Plano visual / Escala visual
0 – 200 m	Plano inmediato
200 – 500m	Primer plano. (hasta este rango los objetos visibles se consideran intraoculares).
500 – 800m	Plano intermedio
800 – 1200m	Plano lejano. (a partir de este rango los objetos se consideran extraoculares)

- **Calidad visual**

El primer aspecto a caracterizar sobre las unidades del paisaje es la calidad visual. Este aspecto da evidencia del valor estético de cada una de las unidades del paisaje brindando la posibilidad de valorar en términos comparables al resto de recursos naturales la belleza de las mismas.

Para la estimación de la calidad visual del paisaje se hace uso del procedimiento usado por Bureau of Land Management o BLM (1989) (ver Tabla 2-13), este se encuentra dentro del conjunto de los métodos indirectos de valoración a través de categorías estéticas calificando y cualificando características sobre las unidades del paisaje. En concreto el método valora para cada unidad del paisaje los aspectos referentes a morfología, vegetación, agua, color, vista escénica, rareza, modificaciones y actuaciones humanas. Mediante la sumatoria de estos calificativos la metodología BLM (1989) asigna una de tres calases posibles a la unidad de paisaje (ver Tabla 2-12)

Tabla 2-12. Clases de calidad visual BLM (1989)

Clase	Descripción
Clase A	Áreas que reúnen características excepcionales, para cada aspecto considerado (de 19 a 33 puntos)
Clase B	Áreas que reúnen una mezcla de característica excepcionales para algunos aspectos y comunes para otros (de 12 a 18 puntos).
Clase C	Áreas con características y rasgos comunes en la región fisiográfica considerada (de 0 a 11 puntos)

Tabla 2-13. Inventario/ Evaluación de calidad escénica. Criterios de ordenación y puntuación (BLM ,1989)

Aspecto	Clase A	Clase B	Clase C
Morfología	Relieve Muy montañoso, marcado y prominente; o bien, relieve de gran variedad superficial o muy erosionado o sistemas de dunas; o bien presencia de un rasgo muy singular o dominante. (5)	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes, pero no dominantes y excepcionales. (3)	Colinas suaves, fondos de valles planos, pocos o ningún detalle singular. (1)
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas y distribución interesantes. (5)	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos. (3)	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación. (1)
Agua	Factor dominante en el paisaje apariencia limpia y clara, aguas blancas o láminas de agua en reposo. (5)	Agua en movimiento o en reposo, pero no dominante en el paisaje. (3)	Ausente o inapreciable. (0)
Color	Combinaciones de color intensa y variadas, o	Algunas variables e intensidad en los	Muy pocas variaciones de

Aspecto	Clase A	Clase B	Clase C
	contrastes agradables entre suelo, vegetación, roca, agua y nieve. (5)	colores y contraste del suelo, roca y vegetación, pero no actúa como elemento domínate. (3)	color o de contraste. (1)
Fondo escénico	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual. (5)	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad del paisaje. (3)	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad el conjunto. (0)
Rareza	Único o poco corriente o muy raro en la región; posibilidad real de contemplar fauna y vegetación excepcional. (6)	Característico, aunque similar a otros en la región. (2)	Bastante común en la región. (1)
Actuaciones humanas	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual. (2)	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no es su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual. (0)	Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica. (-)

Una vez evaluada la calidad visual para las unidades de paisaje la metodología BLM (1989), propone la evaluación de un calificativo denominado clases de gestión visual (rosa) (ver Tabla 2-15). Esta característica adicional se convierte en una en una escala de priorización evidenciando que unidades son más o menos aptas (4 o 1 respectivamente) para recibir una intervención desde el punto de vista de su calidad visual (verde), su plano visual (azul) y considerando su niel de sensibilidad (amarillo).

Tabla 2-14. Niveles de sensibilidad (BLM, 1989)

Sensibilidad	Alta				Media			Baja	
Actitud de los usuarios	A	A	M	A	B	M	M	B	B
Intensidad de uso	A	M	A	B	A	M	B	M	B

Los niveles de sensibilidad (ver Tabla 2-13), se define como un indicativo mediante el cual se estima una calificación tanto la intensidad de uso de las unidades de paisaje por parte de sus usuarios y pobladores como la actitud de estos interesados a la introducción de cambios en las unidades de paisaje.

Tabla 2-15. Clases de gestión Visual (BLM, 1989)

Sensibilidad visual		A	A	A	M	M	M	B
Áreas singulares		1	1	1	1	1	1	1
Calidad visual	Clase A	2	2	2	2	2	2	2
	Clase B	2	3	3	3	4	4	4
	Clase C	3	4	4	4	4	4	4
Alcance visual		PI/PP	PIn	PL	PI/PP	PIn	PL	PL

En la tabla (ver Tabla 2-15) se entenderán las siguientes convenciones:

PI/PP: plano inmediato/ primer plano

PIn: plano intermedio

PL: plano lejano

A: Alto

M: medio

B: bajo

De esta forma una unidad de paisaje con calidad visual **Clase B** con un plano visual intermedio (**PIn**) y una sensibilidad visual alta (**A**) tendrá un valor de gestión visual de tres (**3**).

- **Fragilidad visual**

Después del análisis de la calidad visual, se aborda el aspecto de fragilidad visual con el fin de evidenciar el grado de fragilidad en las unidades de paisaje ante la incidencia de actuaciones sobre estas.

Es de resaltar que el concepto que abarca la fragilidad visual es opuesto a la capacidad de absorción visual (CAV). Esta última no es más que la capacidad de las unidades de paisaje de absorber visualmente las modificaciones o alteraciones sin detrimento de su calidad visual; teniendo esto en cuenta podemos afirmar que en una unidad de paisaje a mayor fragilidad visual corresponde una menor capacidad de absorción y viceversa.

Con base en esta correspondencia de conceptos, se determina la fragilidad visual de las unidades de paisaje ya establecidas como el inverso de la capacidad de absorción visual para las mismas utilizando la metodología por Yeomas (1986). Este modelo se basa en la integración de parámetros biofísicos en las unidades del paisaje de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**:

Ecuación 1. Capacidad de absorción visual (Yeomans 1986)

$$CAV = S \times (E + R + D + C + V)$$

Tabla 2-16. Factores biofísicos (Yeomans 1986)

Factor biofísico	Descripción
S	Pendiente. A mayor S menor CAV
E	Erosionabilidad. A mayor E, menor CAV
R	Capacidad de regeneración de la vegetación. A mayor R mayor CAV
D	Diversidad de la vegetación. A mayor D mayor CAV
C	Contraste color de suelo y roca. A mayor C mayor CAV
V	Contraste suelo – vegetación. A mayor V mayor CAV

Se asignará entonces una categoría de la

Tabla 2-17 a las unidades de paisaje con base en la calificación y cualificación de los factores biofísicos que la conforman de acuerdo con la Tabla 2-18.

Tabla 2-17. Clases de capacidad de absorción visual (adaptado de Yeomans, 1986)

Clase	Rango
Alto	25 - 45
Medio	15 - 25
Bajo	0 - 15

Tabla 2-18. Valores de la capacidad de absorción visual (adaptado de Yeomans 1986)

Factor biofísico	Características	Valor de C.A.V.	
		Cualitativo	Cuantitativo
Pendiente (P)	Inclinado (P > 75)	Bajo	1
	Inclinado suave (75 ≤ P >25)	Moderado	2
	Poco inclinado (25 ≤ P >0)	Alto	3
Erosionabilidad (E)	Restricción alta, derivada de riesgo alto de erosión e inestabilidad y regeneración potencial	Bajo	1
	Restricción moderada, debido a cierto riesgo de erosión e inestabilidad, pobre regeneración potencial	Moderado	2
	Poca restricción por riesgo bajo de erosión e inestabilidad y buena regeneración potencial.	Alto	3
Capacidad de regeneración (R)	Potencial de regeneración bajo	Bajo	1
	Potencial de regeneración moderado	Moderado	2
	Potencial de regeneración alto	Alto	3
Diversidad de vegetación (D)	Eriales, prados y matorrales	Bajo	1
	Coníferas repoblacionales	Moderado	2
	Diversificada mezcla de claros y bosques	Alto	3
Contraste de color suelo - roca (C)	Contraste visual bajo entre el suelo y la vegetación	Bajo	1
	Contraste visual moderado entre el suelo y la vegetación	Moderado	2
	Contraste visual alto entre el suelo y la vegetación	Alto	3
Contraste suelo – vegetación (V)	Contraste alto	Bajo	1
	Contraste moderado	Moderado	2
	Contraste bajo	Alto	3

- **Clasificación visual**

Los aspectos de calidad y fragilidad visual evaluados permiten estimar para las unidades de paisaje una clasificación visual con el fin de asignar un valor paisajístico con fines de conservación y promoción del paisaje.

Tabla 2-19. Clases de valor paisajístico (Ramos et al, 1980)

Clase	Descripción
Clase 1	Zonas de alta calidad y alta fragilidad, cuya conservación resulta pilotaría.
Clase 2	Zonas de alta calidad y baja fragilidad, aptas en principio para la promoción de actividades que requieran calidad paisajística y causen impactos de poca entidad en el paisaje.
Clase 3	Zonas de calidad media o alta y de fragilidad variable, que pueden incorporarse a las anteriores cuando las circunstancias lo aconsejen
Clase 4	Zonas de calidad baja y de fragilidad media o alta, que pueden incorporarse a la Clase 5 cuando sea preciso.
Clase 5	Zonas de calidad y fragilidad bajas, aptas desde el punto de vista del paisajístico para la localización de actividades poco gratas o que causan impactos muy fuertes

De esta forma, las zonas con combinaciones de alta fragilidad y calidad son candidatos para la protección paisajística mientras que valores bajos en ambos aspectos corresponderán a unidades que pueden albergar intervenciones con cambios de propiedades del paisaje como disposición de residuos o construcción de infraestructura

Tabla 2-20. Calificación valor paisajístico (Ramos et al, 1980)

ASPECTO	Calidad		
Fragilidad	**Baja**	**Media**	**Alta**
Baja	Clase 5	Clase 3	Clase
Media	Clase 4	Clase 3	Clase 3
Alta	Clase 4	Clase 3	Clase 1

2.8.1.3 Hidrología

2.8.1.3.1 Modelo de Elevación Digital

Para la descripción de los parámetros morfométricos de la cuenca hasta los puntos donde se va a intervenir la corriente y hasta la desembocadura del río Cocorná al río Calderas se utilizó el Modelos de Elevación Digital del satélite Alos Palsar I de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial que tiene una resolución de 12,5 m (Figura 2-6). Además, del uso de herramientas de sistemas de información geográfico SIG que permiten estimar las variables analizadas y en algunos casos generar mapas distribuidos de éstas.

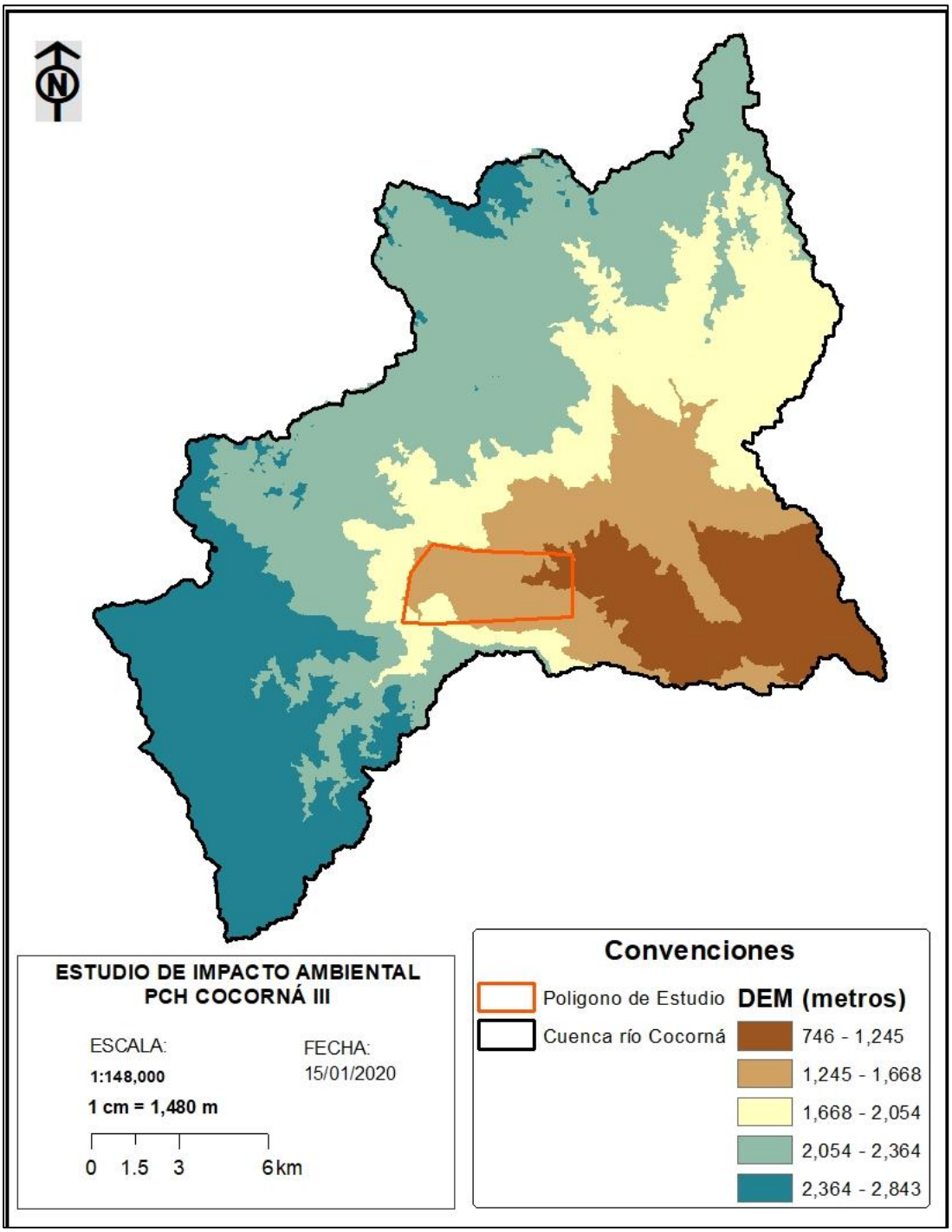


Figura 2-6. DEM satélite Alos Palsar I de las agencias espaciales NASA y JAXA. Resolución de 12,5 m

2.8.1.3.2 Evaluación de series hidrológicas

Teniendo en cuenta la importancia de la evaluación de la homogeneidad, independencia y pertinencia de la copiosa información de lluvia y caudales con que se cuenta para el desarrollo del estudio hidrológico, se realizó el análisis estadístico de dicha información. Se evaluaron los puntos espurios, se hizo el análisis de masa simple y de homogeneidad de la media mediante la prueba T de las series de caudal y precipitación de las estaciones que por la longitud de sus series y ubicación con respecto al proyecto son las más adecuadas para la estimación del caudal medio.

La descripción de las estaciones usadas en el estudio (ubicación, elevación, longitud de la serie, porcentaje de datos faltantes, etc), así como el análisis y los resultados de las pruebas de calidad estadística aplicadas, se presentan en el apartado "Evaluación de series hidrológicas" del capítulo 5 "Caracterización del Área de Influencia" del medio Abiótico".

2.8.1.3.3 Oferta hídrica

Para la estimación del caudal medio multianual de las fuentes a intervenir se utilizaron dos métodos diferentes: el primer método consiste en la transferencia del caudal medio diario de una estación pivote o estación de referencia, la cual debe estar ubicada en la cuenca del proyecto o en una cuenca cercana que tenga un comportamiento hidroclimatológico similar a la cuenca de interés. El segundo método consiste en un balance hídrico de largo plazo, en el cual se incluyen los datos de precipitación y evapotranspiración del área de estudio para encontrar la escorrentía superficial de la zona.

2.8.1.3.3.1 Transferencia del caudal medio diario de una estación de referencia

Para la estimación de los caudales medios mensuales multianuales de las fuentes a intervenir, se contó con la información de las estaciones Pailania y La Garrucha (estaciones de referencia), ubicadas en la Cuenca del Río Samaná Norte, ecosistema hídrico que contiene a la Cuenca del Río Cocorná. Estas estaciones fueron seleccionadas por la longitud de sus series de tiempo y/o por su ubicación con respecto a las obras del proyecto. Para mayor detalle de las series de tiempo usadas, consultar el Capítulo 5 de caracterización del área de influencia, numeral "Evaluación de series hidrológicas"

La expresión utilizada para la transferencia del caudal es la siguiente:

$$Q_{subcuenca} = Q_{estación} * \frac{A_{subcuenca} * \bar{P}_{subcuenca}}{A_{estación} * \bar{P}_{estación}}$$

Donde:

$Q^{subcuenca}$: caudal en el sitio de captación del proyecto o sitio de interés en m^3/s

$Q_{estación}$: caudal medio en la estación pivote o de referencia en m^3/s

$A_{subcuenca}$: área de la cuenca hasta el sitio de captación o de interés para el proyecto en km^2

$A_{estación}$: área de la cuenca hasta la estación de referencia en km^2

$\bar{P}_{subcuenca}$: precipitación media de la cuenca hasta el sitio de captación o de interés para el proyecto en mm/año

$\bar{P}_{estación}$: precipitación media de la cuenca hasta la estación de referencia en mm/año

2.8.1.3.3.2 Transferencia del caudal medio diario de una estación de referencia considerando la variabilidad climática

Como un complemento a la metodología de transferencia de caudales explicada en los párrafos anteriores y con el fin de determinar los efectos de la variabilidad temporal del clima en la oferta hídrica del río Cocorná, se realizó la transferencia de caudales considerando los valores de precipitación media mensual multianual representativos del fenómeno climático El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés).

Para obtener en cada estación la precipitación media mensual multianual considerando el ENSO, se usó el Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés), el cual es utilizado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para identificar eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) en el océano Pacífico tropical.

El ONI representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano pacífico ecuatorial de la región denominada “El Niño 3.4” ubicada en la franja comprendida entre 5°N-5°S y 120°W-170°W. Se calcula como la media móvil de 3 meses consecutivos de las anomalías de la temperatura superficial del mar, medidas por el sensor ERSST.v3 en la región El Niño 3.4. Además, se compone de tres fases: El Niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a +0,5°C, durante cinco meses continuos (3 valores del índice); la Niña, con valores negativos del ONI menores o iguales a -0,5°C, durante cinco meses consecutivos (3 valores del índice); y la fase Neutra con valores del ONI entre -0,5 y +0,5°C, adaptado de Trenberth (1997).

La expresión utilizada para realizar la transferencia de caudales teniendo en cuenta el ENSO se presenta a continuación:

$$Q_{subcuenca} = Q_{estación} * \frac{A_{subcuenca} * \bar{P}_{subcuenca}}{A_{estación} * \bar{P}_{estación}}$$

Donde Q es caudal, A es el área de la cuenca y $\bar{P}$ es la precipitación media mensual multianual de la cuenca para cada condición macroclimática.

Los datos de precipitación media diaria de las estaciones usadas en la elaboración del raster de distribución espacial de la precipitación, fueron separados teniendo en cuenta los eventos de El Niño (ONI ≥ +0,5°C), La Niña (ONI ≤ -0,5°C) y eventos Neutros (-0,5°C < ONI < +0,5°C). Posteriormente se estimó la precipitación media multianual de cada mes y de cada estación, para luego calcular por el método de interpolación de spline tipo “tensión" la precipitación media mensual multianual de las cuencas de interés para cada condición hidrológica.

2.8.1.3.3.3 Balance Hídrico a Largo Plazo

Con el fin de encontrar la escorrentía superficial en la Cuenca del Río Cocorná hasta el sitio de captación del proyecto, se utilizó el método de balance hídrico de largo plazo. Este método es de fácil aplicación y requiere datos de precipitación y evapotranspiración del área en estudio para su aplicación. La ecuación de balance hídrico para una cuenca hidrográfica es la siguiente:

$$PP - ESC - ETR = ds/dt$$

Donde:

PP: precipitación en mm

ESC: escorrentía en mm

ETR: evapotranspiración real en mm

S: almacenamiento de agua en el suelo en mm

T: tiempo

El cálculo del balance hídrico debe incluir períodos de alta y baja humedad (inviernos y veranos), lo que implica que el cambio en el almacenamiento de agua en el suelo con respecto al tiempo tiende a cero para horizontes de tiempo largos, motivo por el cual la ecuación anterior se simplifica a:

$$PP - ESC - ETR = 0$$

Despejando la escorrentía de la ecuación anterior, se tiene:

$$ESC = PP - ETR$$

El término “Escorrentía” comprende tanto la escorrentía superficial o directa como la escorrentía subsuperficial. Pero debido a la dificultad para calcular la escorrentía subsuperficial, se asume en la ecuación antecedente, que la escorrentía es la escorrentía total, superficial más subsuperficial.

Para las subcuencas en estudio el cálculo del balance hídrico se hizo realizando la operación de la ecuación anterior en cada punto interior (píxel como unidad de medida del modelo de elevación digital, Figura 2-6) y utilizando los rasters de precipitación y evapotranspiración real de la zona. ver la siguiente ecuación:

$$ESCi = PPi - ETR_i$$

Donde ESCi representa la columna de agua que el pixel i le aporta a la escorrentía de la subcuenca en el período considerado, PPi la precipitación que recibe el mismo punto, en el mismo período y ETRi, la lámina de agua que se evapotranspira en el punto i en el mismo período. La integral sobre la totalidad de la subcuenca se representa a continuación:

$$\bar{Q} = \int_{cuenca} (PP_i - ETR_(PP_i - ETR_i)\, dA$$

La integración sobre las subcuencas se realizó teniendo en cuenta la dirección y acumulación del flujo en cada subcuenca, obteniendo de esta forma el caudal medio a la salida de éstas.

El raster de precipitación fue obtenido de la interpolación realizada en la sección de clima (ver detalle en numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), l os rasters de evapotranspiración real fueron obtenidos por los métodos de Factor Regional y Budyko. El método del Factor Regional requiere datos de precipitación media multianual (P) en la cuenca en mm/año, el equivalente de agua de la radiación neta (Rn=1172 mm/año) y el parámetro α que depende de la escala temporal de estimación de la variable. Para relaciones de P/Rn que están en el rango de 0,85-6,37, α equivale 1,91. Estos valores son adecuados para cuencas con áreas entre 25 y 5300 km2. ETR por el método del Factor Regional está dado por:

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

El método de Budyko, es un método empírico que estima ETR en función de la precipitación media multianual (P) y la evapotranspiración potencial (ETP) anual, ambas en mm/año (Budyko, 1974); el método está dado por:

$$ETR = \left[\left(1 - e^{-\frac{ETP}{P}}\right) * P * ETP * tan\, h\left(\frac{P}{ETP}\right)\right]^{0,5}$$

Para la evapotranspiración potencial fue utilizado el método de Cenicafé, el cual se relaciona la ETP con la elevación sobre el nivel del mar (Jaramillo, 2006). La relación fue adaptada de la ecuación de la evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith, es aplicable para las cuencas de los Ríos Cauca y Magdalena en los Andes colombianos y está dada por:

$$ETP = 1595.05 * e^{-0,0002*h}$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial ($mm/año$) y h es la altitud ($msnm$)

2.8.1.3.4 Caudal Ambiental

El caudal ambiental fue estimado por dos métodos diferentes: el primer método considera el índice hidrológico Q95%, es decir el caudal presente el 95% del tiempo en el cauce en estudio en el punto de interés para el proyecto. Este índice se ha calculado habitualmente a partir de la serie de caudales históricos diarios, sin embargo, para este EIA se calculó mes a mes, considerando las curvas de duración de caudales medios diarios para los meses de enero a diciembre y para cuatro condiciones hidrológicas (Año Medio, Niño, Niña y Neutro).

El segundo método consistió en la metodología propuesta por las Empresa Públicas de Medellín (EPM, 2012), que se basa en la metodología de Grecco para calcular el caudal de Garantía Ambiental (Grecco, 2005), que comprende todos los valores mínimos de caudales de un río, calculados para un punto específico de su trayectoria, los cuales reflejan el límite mínimo que garantiza la continuidad de los principales aspectos físicos, químicos, bióticos, sociales y estéticos existentes en su entorno, aún con el aprovechamiento del recurso para otros usos (EPM, 2012). Esta metodología considera dentro de la información necesaria para su estimación, el valor del Q95% mensual calculado con el primer método y, por tanto, el caudal ambiental mensual máximo que podrá arrojar el método, será menor o igual que el obtenido con el Q95%.

2.8.1.3.4.1 Caudal Ambiental por el método del índice hidrológico Q95%

Para calcular el caudal ambiental por medio del índice hidrológico Q95%, se partió de la serie de caudales medios diarios del río Cocorná en la zona de captación del proyecto, para una condición hidrológica de año medio (ver Capítulo 5 Caracterización Medio Abiótico, sección Hidrología y Anexo 5.1.7.3). De esta serie se extrajeron las series de caudales medios diarios mensuales, con las cuales se construyeron las curvas de duración de caudales por mes, para finalmente obtener el valor del caudal que permanece el 95% del tiempo para cada mes.

Los caudales que son excedidos el 95% del tiempo, equivalen al caudal ambiental mensual estimado por el método hidrológico del Q95%.

2.8.1.3.4.2 Caudal Ambiental por el método de Grecco modificado

El cálculo de caudales de garantía ambiental por el método de Grecco modificado por las Empresas Públicas de Medellín (EPM, 2012) es una propuesta que en términos generales da cumplimiento a los siguientes pasos:

- Definir el caudal ecológico natural, a partir de la base de datos históricos que será la referencia para el cálculo de los caudales de garantía ambiental (QGA).

- Evaluación ambiental multivariable: Recopilación de información de campo, para permitir la calificación de las variables ambientales. Se determinaron 10 variables correspondientes tanto a aspectos físicos y biológicos como sociales, que en conjunto califican ambientalmente el sector del cauce alterado. Estas variables

son: longitud del río con drástica reducción de caudal, calidad fisicoquímica del agua, demanda de agua para la dilución de carga contaminante, índice de integridad biótica de peces, especies acuáticas amenazadas que migran o que se encuentran en peligro de extinción, calidad biológica del agua, índice biótico de la vegetación riparia, diversidad del perifiton, modificación del paisaje y usos del agua en el sector con caudal alterado. La metodología de medición de las anteriores variables se describe más adelante.

- La metodología determina la calificación ambiental en el sector del río que sufrirá reducción del caudal, mediante la evaluación de las 10 variables mencionadas, cada una con un peso del 10%.

- Determinación del caudal de garantía (CGA): para estimar el CGA se deben estimar los caudales naturales del río, los cuales corresponden a la serie de caudales diarios en el sitio de captación del proyecto. A partir de dicha serie se calculan los caudales medios diarios para cada mes del año y finalmente se calcula el caudal que permanece el 95% del tiempo para cada mes (Q95%). El Q95% para cada mes será la base para el cálculo del caudal de garantía ambiental, ya que su valor será afectado por el porcentaje de descuento obtenido con la evaluación multicriterio.

En conclusión, esta metodología parte de la premisa de que los caudales naturales del río corresponden a los caudales que permanecen en el cauce el 95% del tiempo. A partir de allí, se utiliza un análisis de variables múltiples que involucra 10 aspectos (entre físicos, bióticos y sociales, ver la Tabla 2-21), cada una con un factor de ponderación del 10%, para determinar qué cantidad de estos caudales puede ser tomada para aprovechamiento. Estos son los denominados Caudales de Garantía Ambiental.

Tabla 2-21. Variables analizadas en la metodología de determinación de Caudales de Garantía Ambiental – CGA (EPM, 2012).

No. Variable	Variable analizada	Parámetro
1	Longitud de cauce con caudales drásticamente reducidos	Físico
2	Calidad del agua del río	Físico-Químico
3	Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Físico-Químico
4	Índice de integridad biótica de peces	Biótico
5	Especies acuáticas amenazadas, que migran o se encuentran en peligro de extinción	Biótico
6	Calidad biológica del agua	Biótico
7	Índice biótico de vegetación riparia	Biótico
8	Diversidad del perifiton	Biótico

No. Variable	Variable analizada	Parámetro
9	Modificación del paisaje	Social
10	Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Social

A continuación, se describen cada una de las variables que serán evaluadas.

- **Longitud del río con drástica reducción de caudal**

Dimensiona la longitud del cauce que sufrirá la reducción de caudal cuando el proyecto se encuentre en operación. Parte de la suposición que en la medida que el tramo con caudal reducido sea más largo, mayor será la afectación en la hidrobiota y en la hidrodinámica del cuerpo de agua y por tanto mayor será el valor dado en porcentaje de requerimiento de agua para la evaluación de esta variable. Esta longitud está representada por el tramo comprendido entre el sitio de captación y el punto en el cual el valor acumulado de caudal medio natural proveniente de los afluentes que ingresan en el sector afectado, sea equivalente al 50 % del valor obtenido para el Q95% correspondiente en el sitio de la captación; de no encontrarse este valor, esta longitud a evaluar equivaldrá a la longitud del sector comprendido entre la captación y la descarga de la casa de máquinas del proyecto. La variable se mide en metros (Tabla 2-22) y su medición se hace mediante la cartografía existente o elaborada con un sistema de información geográfico.

Tabla 2-22. Parámetros de calificación de la variable: Longitud del tramo del río con drástica reducción de caudal

Aspecto ambiental	Metodología	Rango (m)	Ponderador
Longitud de cauce con caudal drásticamente reducido	Medición cartográfica hasta el punto donde se alcance el 50% del Q95% medido al inicio de la perturbación, o en su defecto, hasta el sitio en donde el proyecto retorne las aguas usadas en generación.	<1229	0
		1229-1844	1
		1845-2458	2
		2459-3073	3
		3074-3687	4
		3688-4302	5
		4303-4916	6
		4917-5531	7
		5532-6145	8
		6146-6760	9
		>6760	10

Nota: se realizó una modificación de los límites inferiores de los rangos considerados, con el fin de abarcar todo longitud posible entre 0 y 6760 m de longitud.

- **Calidad del agua del río**

Pretende calificar la calidad física y química del agua de la corriente afectada, asignando un mayor porcentaje de requerimientos en el caudal de garantía ambiental, para aquellas corrientes que aún conservan sus aguas en condiciones poco alteradas, es decir aquellas que no han sido afectadas significativamente por actividades externas a los procesos naturales que ocurren en el cuerpo de agua. Este aspecto es calificado con el índice de Calidad del Agua ICA – FSN (Fundación para la Sanidad Nacional en los Estados Unidos de América) o con metodologías adaptadas de esta, ver Tabla 2-23.

Tabla 2-23. Parámetros de calificación de la variable: Calidad físico – química del agua

Aspecto Ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua del río	Índice de calidad del agua ICA - FSN	Excelente	91 - 100	10
		Buena	86 – 90	9
			81 – 85	8
			76 – 80	7
			71 – 75	6
		Regular	66 – 70	5
			61 – 65	4
			56 – 60	3
			51 – 55	2
		Mala	26 – 50	1
		Pésima	0 – 25	0

Nota: se realizó una modificación de los rangos y del factor ponderador ya que la metodología de EPM (2012) presentaba un error en la información al no incluir el rango 81-85.

- **Requerimiento de agua para la dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado (DQO)**

Pretende calificar la carga de contaminantes que ingresará al tramo del cauce con caudal reducido, proveniente de los afluentes y descargas del sector. A mayor carga contaminante, requerirá porcentajes adicionales de caudal de garantía ambiental para mejorar la mezcla y la dilución.

La demanda de oxígeno del agua natural o residual, es la cantidad de oxígeno que es consumida por las sustancias contaminantes que están en el agua durante un cierto tiempo, ya sean orgánicas o inorgánicas. Las técnicas basadas en el consumo de oxígeno son la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el carbono orgánico total (COT). La DQO, en particular, es la cantidad de oxígeno (en mg/L) consumida en la oxidación de las sustancias reductoras que están en el agua. Esta variable se determina promediando los resultados de la DQO del afluente principal o de los afluentes principales del sector comprendido entre el sitio de presa y la descarga proveniente de la casa de máquinas

(el tramo medio), pues es la calidad de sus aguas la que requerirá o no caudal adicional para la dilución de contaminantes. Tabla 2-24.

Tabla 2-24. Parámetros calificación de la variable: Demanda de agua para la dilución de contaminantes en el sector afectado

Aspecto ambiental	Metodología	Rango (mg/L)	Ponderador
Requerimiento de agua para dilución de carga contaminante que ingresa en el sector afectado	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	0,0 – 3,0	0
		3,1 – 6,0	1
		6,1 – 9,0	2
		9,1 – 12,0	3
		12,1 – 15,0	4
		15,1 – 18,0	5
		18,1 – 21,0	6
		21,1 – 24,0	7
		24,1 – 27,0	8
		27,1 – 30,0	9
		> 30,0	10

Nota: se realizó una modificación de los límites inferiores de los rangos considerados.

- **Índice de Integridad Biótica de Peces (IIB_{peces})**

El Índice de Integridad Biótica de Peces arroja información sobre el estado de conservación de un ecosistema acuático, al evaluar diferentes atributos de las comunidades de peces existentes. Exactamente se define como: “la capacidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad adaptada, integrada y balanceada de organismos que tienen una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a los hábitats naturales de la región” (EPM, 2012), (Karr, 1981).

La metodología detallada para su estimación se presenta en el Capítulo 5 Caracterización del Medio Biótico de este EIA. Su evaluación se realiza a lo largo del trayecto que sufrirá la reducción de caudal y los resultados se califican según los valores presentados en la Tabla 2-25.

Tabla 2-25. Parámetros de calificación de la variable: Índice de Integridad Biótica de Peces

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Índice de Integridad Biótica de Peces (IIBpeces)	Suma de los puntajes de cada variable, dividida por el número de variables. El índice total fluctúa entre 0,2 y 1,0	0,0-0,30 Baja integridad biótica de peces	0,00	0
			0,01-0,10	1
			0,11-0,20	2
			0,21-0,30	3
		0,31-0,60 Moderada integridad de peces	0,31-0,40	4
			0,41-0,50	5
			0,51-0,60	6
		0,61-1,00	0,61-0,70	7

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
		Alta integridad biótica de peces	0,71-0,80	8
			0,81-0,90	9
			>0,90	10

- **Especies acuáticas amenazadas, que migran o se encuentran en peligro de extinción**

Pretende determinar la presencia o ausencia de especies de organismos acuáticos amenazados o en peligro de extinción. El hecho de identificar al menos una especie en esta categoría, califica la variable con el mayor puntaje total posible de asignar (ver Tabla 2-26). Esta información debe corroborarse en la lista de la Unión Mundial para la naturaleza (IUCN), Libro Rojo, que presenta dicha información y en otras fuentes nacionales existentes.

Así mismo, evalúa la presencia de especies migratorias, tanto de aquellas que se mueven longitudinalmente río arriba y río abajo, así como aquellas que presentan movimientos mucho más cortos que las anteriores y que se mueven lateralmente de los tributarios hacia el cauce principal y en sentido contrario.

Tabla 2-26. Parámetros de calificación de la variable: Presencia de especies que migran, amenazadas o en peligros

Aspecto ambiental	Descriptor	Ponderador
Especies acuáticas que realizan migraciones, son endémicas, amenazadas o en peligro de extinción	Especies con amplia distribución.	0
	Especies amenazadas, en peligro de extinción o especies migratorias	10

- **Calidad biológica del agua (índice de calidad BMWP'/Col)**

Pretende calificar la calidad del agua en función de la presencia de macroinvertebrados acuáticos, asignando un mayor valor a aquellos organismos indicadores de aguas de buena calidad. Un alto valor del índice implica un mayor porcentaje del agua que se debe destinar para cubrir los requerimientos de caudal de garantía ambiental (Tabla 2-27). Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que le son propios.

Para la evaluación biológica de la calidad de las aguas se usa el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System), el cual se basa en la existencia de una comunidad de macroinvertebrados que actúa como sensor ambiental. Para ello se ha de asegurar un muestreo representativo de la misma, que incluya a representantes de las familias que habitan en el tramo a evaluar, realizando

muestreos de tipo cualitativo en todo el conjunto de micro-hábitat existente: orillas con o sin vegetación, zonas de piedras, de arenas, en corriente y sin ella.

Los resultados detallados de la estimación del BMWP se encuentran en el Capítulo 5, Caracterización del Medio Biótico, sección Ecosistemas Acuáticos de este EIA.

Tabla 2-27. Parámetros de calificación de la variable: Calidad biológica del agua

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad biológica del agua	Valor del índice BMWP	Muy crítica	<16	0
		Crítica	16 – 35	1
		Dudosa	36 – 60	2
		Aceptable	61 – 70	3
			71 – 80	4
			81 – 90	5
			91 - 100	6
		Buena	101 - 110	7
			111 - 120	8
		Muy buena	121 - 130	9
			>130	10

- **Índice Biótico de Vegetación Riparia ($IB_{Veg\ Rip}$)**

Teniendo en cuenta la importancia de la vegetación de ribera para los diferentes ecosistemas acuáticos presentes en la zona, la metodología de EPM (2012) incluye en la estimación del caudal ambiental el **$IB_{Veg\ Rip}$**. Esta vegetación, que se encuentra presente a lo largo de los cuerpos de agua, regula los flujos de materia y energía desde y hacia los ecosistemas acuáticos, aporta materia orgánica que sirve de alimento para las especies de fauna acuática, ayuda a disminuir los procesos erosivos de las orillas y márgenes de los ríos y quebradas, embellece el paisaje y contribuye a mejorar la regulación hídrica de las cuencas, entre otras funciones ecosistémicas. La metodología detallada para estimar el **$IB_{Veg\ Rip}$** se encuentra en el numral 2.8.2.4.4 de este informe.

Los resultados del índice se califican mediante los siguientes valores ponderadores, ver Tabla 2-28.

Tabla 2-28. Parámetros de calificación la variable: Índice Biótico de Vegetación Riparia

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Índice Biótico de	El índice oscila entre 0 y 1; cero para los sitios		<0,01	0
			0,01-0,10	1

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Vegetación Riparia	donde la variable demuestra deterioro y uno para sitio sin alteración	Estado ecológico deficiente o malo para esta comunidad	0,11-0,20	2
			0,21-0,30	3
		Estado ecológico moderado para esta comunidad	0,31-0,40	4
			0,41-0,50	5
			0,51-0,60	6
		Estado ecológico bueno o excelente para esta comunidad	0,61-0,70	7
			0,71-0,80	8
			0,81-0,90	9
			>0,90	10

- **Diversidad del Perifiton**

La diversidad del perifiton presente en un cuerpo de agua es una variable indicadora de su calidad. Esta diversidad se puede ver afectada por la contaminación del agua por materia orgánica o por compuestos tóxicos. Así mismo, la heterogeneidad espacial en cada tramo relacionada con las diferencias de velocidad, tipo de sustrato, existencia o no de vegetación, sustracción o adición exagerada de caudales, entre otros aspectos, también influyen en la mayor o menor riqueza de esta comunidad.

La inclusión de esta variable en la estimación del caudal ambiental se debe a que estas especies son los productores primarios de la red trófica (EPM, 2012) (Wetzel, 2001) y por ende son los principales responsables de la síntesis de materia orgánica en los ríos, de ahí la importancia de su protección y conservación.

Este índice fue estimado en el Capítulo 5, Caracterización del Medio Biótico de este EIA, sección Índices de Integridad Biótica. Los rangos de evaluación para estimar el caudal ambiental son los presentados en la Tabla 2-29.

Tabla 2-29. Parámetros de calificación la variable: Diversidad del perifiton

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Calidad del agua por Diversidad del Perifiton según el índice de SHANNON - WIENER	El índice es atractivo por su fácil aplicación y su independencia del tamaño de la muestra, arrojando valores que van desde 0 hasta 5, donde 5 puede llegar a	Aguas muy contaminadas	0,00-0,30	1
			0,31-0,60	2
			0,61-0,90	3
			0,91-1,20	4
			1,21-1,50	5

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
	ser la máxima diversidad	Aguas medianamente contaminadas	1,51-1,80	6
			1,81-2,10	7
			2,11-2,40	8
			2,41-2,70	9
		Aguas muy limpias	>2,7	10

Nota: se realizó una modificación de los límites inferiores de los rangos considerados

- **Modificación del Paisaje**

Pretende identificar los diferentes puntos transitados por personas (vías, núcleos poblados, etc.) desde los cuales se pueda tener visibilidad sobre el sector del río que sufrirá la reducción de caudal. Supone que a mayor longitud de cauce observable, mayor es la calificación que recibe y, por tanto, mayor el porcentaje de caudal de garantía ambiental que requerirá (Tabla 2-30).

La mayoría de los enfoques aplicados al análisis visual del paisaje conceden gran importancia a la determinación de las áreas de visibilidad desde distintos puntos. Esto implica que se defina la superficie desde donde se observa el punto o la secuencia de puntos analizados, o bien el horizonte observable desde el lugar. Para ello existen métodos manuales que producen mapas de visibilidad por medio de esquemas de campo. Sin embargo, este análisis sólo ha podido enfocarse de forma sistemática y con un cierto rigor en los últimos años, con la aplicación de los sistemas de información geográfica.

La cuenca visual engloba todos los posibles puntos de observación desde donde la acción es visible. Su determinación delimita el ámbito de los impactos visuales que se causan y que puedan alterar las visuales de todos esos puntos con un nuevo elemento artificial al modificar las condiciones del territorio.

Tabla 2-30. Parámetros de calificación de la variable: Modificación del paisaje

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango (m)	Ponderador
Modificación del paisaje	Cuenca visual (sumatoria de longitudes, del cauce con caudal reducido que se observa desde los diferentes puntos de la cuenca)	Ausente	< 1	0
		Presente (longitud en metros)	1 – 1000	1
			1000 – 2000	2
			2000 – 3000	3
			3000 – 4000	4
			4000 – 5000	5

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango (m)	Ponderador
			5000 – 6000	6
			6000 – 7000	7
			7000 – 8000	8
			8000 – 9000	9
			>9000	10

- **Usos del agua en el sector con caudal alterado**

Pretende proteger y calificar los usos del agua que se identifiquen en el tramo del río que será afectado con la reducción de caudal, asignando un mayor valor de caudal de garantía ambiental a mayores usos identificados en la zona de estudio. De encontrarse usos para actividades agrícolas, pecuarias, consumo humano, o cualquier otro uso en el tramo afectado (actual o proyectado) y el promedio anual del Q95% en el sitio de inicio de la perturbación; en otras palabras, deberá responderse a la pregunta: ¿qué porcentaje representan los usos actuales y potenciales del agua en relación con el caudal ecológico natural del río en el sector afectado? Ver Tabla 2-31.

Tabla 2-31. Parámetros de calificación de la variable: Usos del agua en el sector con caudal afectado

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
Usos del agua en el trayecto con caudales reducidos	Porcentaje de caudal concesionado o proyectado para uso futuro, en relación con el Q95% promedio anual determinado para el sitio de inicio de la perturbación. El caudal de usos además de lo anterior, se suma en su totalidad al caudal ambiental)	Ausente	0,00	0
		Presente	0,00 – 0,001	1
			0,001-0,002	2
			0,002-0,003	3
			0,003-0,004	4
			0,004-0,005	5
			0,005-0,006	6
			0,006-0,007	7

Aspecto ambiental	Metodología	Descriptor	Rango	Ponderador
			0,007-0,008	8
			0,008-0,009	9
			>0,009	10

Los resultados obtenidos aplicando la evaluación explicada en los 10 pasos anteriores, deben ser tabulados y codificados según el componente ambiental al que pertenezcan. Posteriormente se continúa con el análisis referido a la calificación que mejor los define, concluyendo con la obtención de una calificación ambiental del tramo afectado, que en su conjunto evalúa las principales características del medio en cuestión y determina en última instancia, los porcentajes periódicos de caudal requerido en el trayecto afectado por la sustracción de caudal.

2.8.1.3.5 Caudales Máximos Instantáneos

El objetivo central de la estimación de caudales máximos instantáneos consiste en la estimación de los asociados a períodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años en las cuencas de las quebradas de interés. Los caudales máximos son necesarios para el diseño de obras de captación, evaluación de amenaza por inundación y el diseño de obras de control, entre otros.

Se aplicaron los modelos de hidrograma unitario sintético de Snyder, Clark y del SCS (Soil Conservation Service, EEUU), con el apoyo del programa HEC HMS 4.0 e igualmente el método racional probabilístico en las cuencas que para efectos de este informe se han denominado corrientes menores y que tienen menos de 1 km^2 de área aferente. Los modelos empleados se apoyan en la relación causal existente entre respuesta hidrológica y las características físicas de las cuencas. La utilización de varias metodologías se justifica por la incertidumbre asociada a las condiciones de escasez de información de caudales máximos medidos sistemáticamente en los sitios de interés en que se desarrolla el estudio.

La información de estas estaciones se empleó en la estimación de las tormentas de diseño, variable de entrada a los modelos lluvia-escorrentía empleados en la estimación de los caudales máximos.

Las características físicas de las cuencas hidrográficas influyen, al igual que las variables hidroclimatológicas en el comportamiento de su régimen de escorrentía. Con base en la información de cuencas hidrográficas contenida en los sistemas de elevación digital se determinaron los parámetros morfológicos necesarios en la modelación hidrológica y la consecuente estimación de los caudales máximos.

La duración de las tormentas de diseño se toma igual al tiempo de concentración, ya que, para esta duración, la totalidad de la cuenca aporta a la escorrentía. En la

estimación del tiempo de concentración se emplearon los modelos de Témez, Kirpich, California Culverts Practice, Giandiotti, SCS Ramser, Johnstone-Cross, Bransby-Williams y Passini, que están definidas por las siguientes expresiones:

- Témez (1978):

$$Tc = 0{,}3 * \left(\frac{L}{So^{0{,}25}}\right)^{0{,}75}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, horas; L es la longitud del cauce principal, en kilómetros y So es la diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en porcentaje.

- Kirpich (1990):

$$Tc = 0{,}066 * \left(\frac{L}{\sqrt{So}}\right)^{0{,}77}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, horas; L es la longitud desde ka estación hasta la divisioria, siguiendo el cauce principal, en kilómetros y So es la diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en m/m.

- California Culverts Practice

$$Tc = \left(\frac{11.9L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, horas; L es la longitud del cauce principal en millas y H es la diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria de aguas en pies.

- Giandiotti (1990):

$$Tc = \frac{4 * \sqrt{A} + 1{,}5 * L}{25{,}3 * \sqrt{L * So}}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, en horas; A es el área de la cuenca, en kilómetros cuadrados; L es la longitud del cauce principal, en kilómetros y So es la diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre L, en m/m.

- SCS - Ramser

$$Tc = 0.947\left(\frac{Lc^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, en horas; Lc es la distancia desde el sitio de interés al punto en el cual la corriente principal corta la divisoria de aguas en kilómetros y H es la diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en metros.

- Johnstone – Cross

$$Tc = 5\left(\frac{L}{\sqrt{So}}\right)^{0.5}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, en horas; L es la longitud del cauce principal en millas y So es la diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre L en pies/milla.

- Bransby - Williams

$$Tc = \frac{FL}{A^{0.1}So^{0.2}}$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, en minutos; A es el área de la cuenca en Km^2, L es la longitud del cauce principal en kilómetros, So es la diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre L en m/m y F es un factor para hacer la corrección por unidades de 14,7 si el área está en km^2.

- Passini

$$Tc = \frac{\beta(AL)^{1/3}}{So^{0.5}} \quad 0.04 \leq \beta \leq 0.13$$

Dónde Tc es el tiempo de concentración, en horas; A es el área de la cuenca en Km^2, L es la longitud del cauce principal en kilómetros, So es la diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre L en m/m.

Las láminas de precipitación de las tormentas correspondientes a cada uno de los períodos de retorno a modelar para las cuencas, se determinaron con base en las curvas intensidad-duración-frecuencia de las estaciones con influencia sobre la Cuenca del río Cocorná en el sitio del proyecto.

En la determinación de la escorrentía directa se usó la metodología del Soil Conservation Service (SCS), que permite determinar las pérdidas con base en el tipo y el uso de suelo (Chow, Maidment, & Mays, 1994). La precipitación efectiva o escorrentía directa (Pe) se estima a partir de la precipitación total acumulada, por medio de las siguientes ecuaciones:

$$P_e = \frac{(Pt_{acum} - I_a)^2}{Pt_{acum} - I_a + S}$$

$$I_a = 0{,}2 * S$$

$$S[mm] = \left(\frac{100}{CN} - 10\right) * 25{,}4$$

Dónde P_e es la precipitación efectiva, Pt_{acum} es la precipitación total acumulada, I_a es la abstracción inicial, CN es el número de curva y S es la capacidad de almacenamiento.

Uno de los métodos para calcular las abstracciones de la precipitación es el propuesto por el (Soil Conservation Service, 1972) el cual relaciona la cobertura y la permeabilidad del suelo con las abstracciones de precipitación. Define un número adimensional de curva CN, tal que 0 ≤ CN ≤ 100; para superficies impermeables y superficies de agua CN = 100; para superficies naturales CN < 100.

El número de curva CN es función de la textura, la cobertura, tipo de tratamiento superficial del suelo, y las condiciones antecedentes de humedad del suelo, las cuales están definidas en tres grupos:

- AMC-I: Para suelos secos
- AMC-II: Para suelo intermedios
- AMC-III: Para suelos húmedos

Las tablas disponibles para el valor del parámetro CN, están dadas para la condición AMC II, la cual fue usada para el presente estudio.

El CN varía de acuerdo con el grupo hidrológico del suelo, el cual está definido como A, B, C y D, se acuerdo con las siguientes características:

- Grupo de suelo A: suelo con alto potencial a la infiltración y bajo potencial a la escorrentía, incluso cuando están completamente húmedos. Suelos derivados de rocas metamórficas cubiertos con vegetación (bosque o rastrojo alto) con grado de meteorización 30/50 según Brand (1988) y con discontinuidades en la matriz de suelo producto del proceso de descomposición de la roca. Las estructuras heredas funcionan como canales de flujo principales. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 7%. También se incluyen los suelos que presentan un efecto geológico marcado por diaclasas y bandeamientos, y cuyo buzamiento se da en ángulos mayores a 60°. Consisten principalmente en arenas o gravas profundas, bien o excesivamente drenadas.

- Grupo de suelo B: Infiltración moderada y escorrentía moderada cuando están completamente húmedos. Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias poco denudados con grado de meteorización 0/30 según Brand (1988) y con discontinuidades difícilmente cartografiables en campo. Las estructuras heredas ya no son tan importantes en la permeabilidad del conjunto, por lo cual la permeabilidad primaria es la que controla el flujo de agua en el suelo. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 10%. Consisten principalmente en suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas.

- Grupo de suelo C: tiene tasa de infiltración baja (escorrentía de moderada a alta). Suelos residuales derivados de cualquier tipo de roca, y cuyo grado de meteorización se clasifique como residuales maduros (Brand – 1988), en los cuales las propiedades y minerales del material parental no son fácilmente identificables. Esta formación tiene como característica principal que está cubierta por pastos manejados y sus pendientes varían entre un 5 y 15%.

- Grupo de suelo D: Muy poca infiltración (alta escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyo grado de meteorización varía entre 0/90 y en donde la pendiente media excede 15%. El tipo de vegetación en este grupo no es de mayor importancia ya que el fuerte gradiente topográfico impide la recarga de los acuíferos en la zona, generando por el contrario un flujo hipodérmico hasta aflorar nuevamente en superficie y hacer parte del agua que se aporta al canal principal de la cuenca. En este grupo se encuentran las áreas urbanizadas con poca vegetación (10%). En la Tabla 3-57 se muestran valores del CN para la condición antecedente de humedad II con base en los cuales se hizo la estimación.

Tabla 2-32. Número de curva (CN). Condición de humedad antecedente AMC II

Descripción de Usos del Suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Zona de parqueo pavimentada, Techada	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentos con bordillos y alcantarillas	98	98	98	98
Afirmado	76	85	89	91
Suelo compactado	72	82	87	89
Cultivos (Cosecha agrícola) del suelo:				
Sin tratamientos de conservación (Sin terrazas)	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación (Terrazas, Contornos)	62	71	78	81

Descripción de Usos del Suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Pastos o gama de suelos				
Pobre (< 50% cobertura del suelo por pastos muy continuos)	68	79	86	89
Buena (50-75% Cobertura del suelo por pastos poco continuos)	39	61	74	80
Prado (pasto, sin pastar y corto para follaje)	30	58	71	78
Rastrojo (bueno, >75% cobertura de suelo)	30	48	65	73
Bosques y Selvas				
Pobre (árboles pequeños – rastrojo destruido después de quema o rozada)	45	66	77	83
Regular (rozado pero sin quema, algunos rastrojos)	36	60	73	79
Bueno (sin rozado, cobertura de suelo rastrojo)	30	55	70	77
Espacios abiertos (pastos, parques, canchas de golf, cementerios, etc.)				
Regular (cobertura de pastos 50-75% del área)	49	69	79	84
Bueno (cobertura de pastos >75% del área)	39	61	74	80
Zonas comerciales y de negocios (85% impermeable)	89	92	94	95
Zonas industriales (72% impermeable)	81	88	91	93
Áreas residenciales				
Lotes de 505 m2, cerca de 65% impermeable	77	85	90	92
Lotes de 1011 m2, cerca de 38% impermeable	61	75	83	87
Lotes de 2023 m2, cerca de 25% impermeable	54	70	80	85
Lotes de 4046 m2, cerca de 20% impermeable	51	68	79	84

Fuente: SCS, 1986

- **Método de Snyder**

El modelo hidrológico de Snyder calcula un hidrograma unitario a partir de las principales características morfométricas de la cuenca, del caudal pico, el tiempo al pico y del tiempo de rezago.

Tiempo de rezago

El tiempo de rezago se define como el tiempo existente desde el centroide del histograma de precipitación efectiva hasta el caudal pico del hidrograma unitario y se calcula como:

$$Tr = \frac{Lc^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Sc^{0.5}}$$

Donde Tr corresponde al tiempo de rezago en horas, Lc es la longitud del drenaje principal hasta la divisoria de aguas en pies, S es el factor de retención o almacenamiento calculado con base al número de curva CN y Sc es la pendiente de la cuenca en porcentaje. Si el tiempo de rezago es mayor que el tiempo de concentración se recomienda utilizar la siguiente relación:

Tr = 0.6Tc

Donde Tc es el tiempo de concentración en horas.

Duración de la lluvia

Snyder consideró lluvias que estuvieran de acuerdo con el tamaño de la cuenca definiendo para ello una relación de 1/1.5 veces el tiempo de rezago; así entonces

$$T = \frac{T_r}{5.5}$$

Donde T será la duración de la lluvia efectiva en horas y Tr el tiempo de rezago en horas

Tiempo al pico

El tiempo al pico puede calcularse como:

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

Donde Tp es el tiempo al pico, T es la duración de la lluvia en horas y Tr es el tiempo de rezago.

Caudal Pico

El caudal pico por milla cuadrada Up puede ser estimado utilizando la siguiente expresión:

$$u_p = Cp\frac{640}{Tr}$$

Donde Up representa el caudal al pico por unidad de área (en $pie^3/s\text{-}mi^2$), Tr es el tiempo de rezago en horas y Cp es un coeficiente adimensional que depende de la topografía de la cuenca variando entre 0,4 y 0,85 y que está relacionado con las condiciones de almacenamiento; para superficies muy planas toma el valor de 0.42, para pendientes moderadas de 0,67 y para áreas montañosas de 0,85. La ecuación

anterior es usada cuando el hidrograma unitario a construir corresponde a una precipitación efectiva cuya duración coincide con el tiempo al pico en caso contrario se utiliza la siguiente expresión:

$$u_p = Cp \frac{640}{[Tr + (T - ts)/4]}$$

Donde ts es la duración de la lluvia en horas y T es la duración de la precipitación efectiva en horas. Una vez obtenido el caudal al pico por unidad de área, el caudal al pico total (Up) se obtiene como:

$Up = u_p Ac$

Siendo Ac el área total de la cuenca.

Duración de la escorrentía superficial

El cálculo del tiempo base de Hidrograma unitario se estima mediante la siguiente expresión:

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

Donde t_b es el tiempo base en días con Tr en horas. Esta ecuación es adecuada para cuencas de tamaño considerable, pero para cuencas pequeñas arroja valores muy altos, por lo que el tiempo base debe recalcularse como 5 a 6 veces el tiempo al pico.

- **Método del Soil Conservation Service**

El Soil Conservation Service (SCS), desarrolló un Hidrograma Unitario Adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a cuencas de muy diversos tamaños y ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos.

El Hidrograma Unitario adimensional curvilíneo del SCS puede ser representado por un Hidrograma Unitario Triangular equivalente, con las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo por consiguiente el mismo porcentaje del volumen en el lado creciente del Hidrograma como se observa en la Figura 2-7.

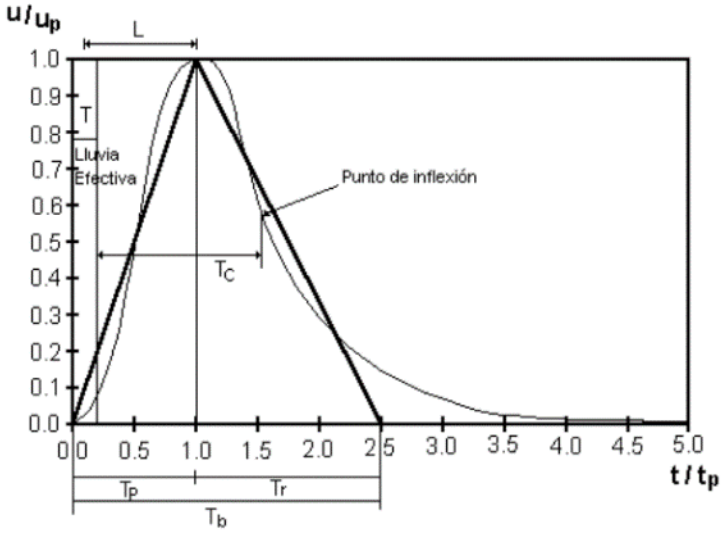


Figura 2-7. Hidrograma unitario adimensional del SCS.

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

$$U_P = 484 * \frac{A_C}{T_P}$$

Dónde U_P es el caudal pico correspondiente a un Hidrograma Unitario, A_C es el área de la cuenca (mi^2) y T_P es el tiempo al pico (horas).

El método del SCS utiliza el tiempo de concentración, definido como el tiempo que transcurre desde el final de la lluvia efectiva hasta el punto de inflexión de la rama decreciente del Hidrograma Unitario. Con base en esto, el SCS propone una relación promedio entre el tiempo de rezago (T_R) y el tiempo de concentración (T_C), dada por

$$T_C = \frac{5}{3} * T_R$$

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

$$T_R = \frac{L_C^{0,8} * (S+1)^{0,7}}{1900 * S_C^{0,5}}$$

Dónde L_C es la longitud del canal principal (ft), S_C es la pendiente promedio de la cuenca (%), S es el factor de retención o almacenamiento (in); el factor de almacenamiento S se obtiene con:

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

Dónde CN es el número de curva.

El tiempo al pico (T_P) se estima con:

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

Dónde T es la duración de la lluvia efectiva (horas) y T_R es el tiempo de rezago (horas); La relación promedio entre el rezago y el tiempo de concentración, puede estimarse mediante:

$$T_R = 0{,}6T_C$$

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

$$T = 0{,}133T_C$$

- **Método de Snyder**

Snyder realizó estudios en cuencas de los Montes Apalaches (EEUU), con áreas de 30 a 30000 km^2 y encontró relaciones sintéticas de un hidrograma unitario estándar a partir de las cuales pueden calcularse las características de un hidrograma unitario, ver Figura 2-8. Para una duración de lluvia efectiva determinada, los parámetros del hidrograma unitario sintético de Snyder son:

- Retardo de la cuenca, t_{pR}: diferencia de tiempo entre el centroide del hietograma efectivo y el pico del hidrograma unitario
- Caudal pico por unidad de área de la cuenca, q_{pR}
- Tiempo base, tb
- Ancho W_{50} [T] del hidrograma unitario al 50 % del caudal pico
- Ancho W_{75} [T] del hidrograma unitario al 75 % del caudal pico

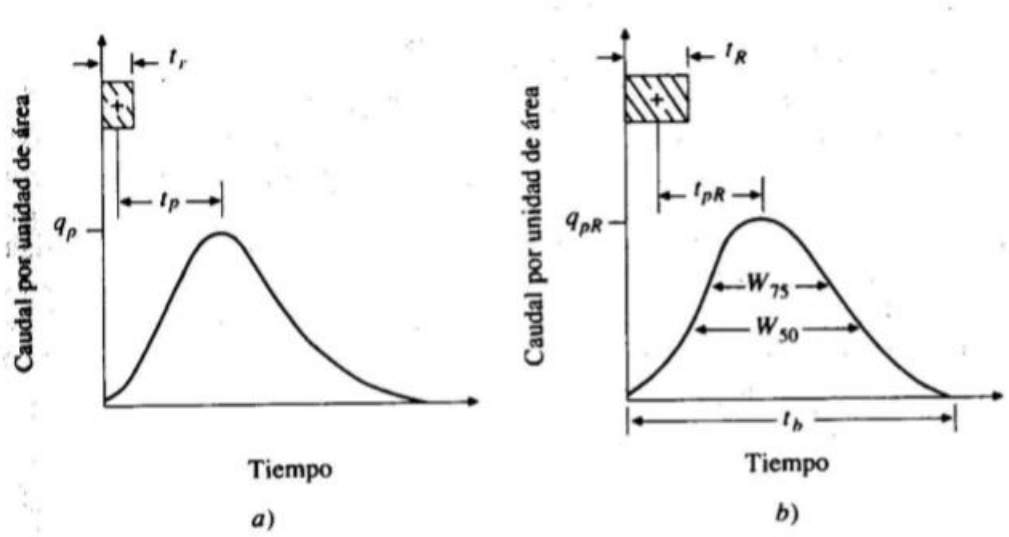


Figura 2-8. (a) Hidrograma unitario estándar ($t_p = 5{,}5t_r$), (b) hidrograma unitario requerido ($t_p \neq 5{,}5t_r$)

Fuente: Chow et al. 1994

La duración de la lluvia efectivas es:

$$t_r = \frac{t_p}{5.5}$$

Donde tr es la duración de la lluvia efectiva y tp el tiempo de retardo, ambos del hidrograma unitario estándar. Para un hidrograma unitario estándar el tiempo de retardo es:

$$t_p = 0{,}75C_t(LL_C)^{0{,}3}$$

Donde L es la longitud del cauce principal hasta la divisoria de aguas arriba en km, Lc es la distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto del cauce principal más cercano al centroide del área de la cuenca en km y Ct es un coeficiente que varía entre 1,35 (pendientes altas) y 1,65 (pendientes bajas). Para el hidrograma unitario estándar se encontró que el caudal pico por unidad de área es:

$$q_p = \frac{2{,}75C_p}{tp}$$

Donde Cp es un coeficiente que varía entre 0,56 y 0,69 y q_p está en unidades de $m^3/(s*km^2)$.

- **Método de Clark**

El método se basa en la distribución de la superficie de la cuenca entre líneas isócronas para computar el volumen de agua caído sobre cada una de esas superficies y considerar el retardo producido por el tránsito del agua a lo largo de la cuenca. Las curvas isocronas son curvas que unen aquellos puntos de la cuenca que tienen igual tiempo de desagüe

Este método tiene como hipótesis básica que el proceso lluvia – escorrentía está gobernado por los fenómenos de atenuación y traslación. La atenuación es el resultado de los efectos de almacenamiento del canal que resisten al flujo. Para el cálculo de la escorrentía directa requiere el tiempo de concentración y un coeficiente de almacenamiento (R) con dimensiones de tiempo, el cual se asocia con la capacidad de la cuenca para retener humedad.

Ecuaciones de regionalización de parámetros desarrolladas para el estado de Illinois permiten hallar de manera práctica los valores del coeficiente de almacenamiento (R) y del tiempo de concentración Tc, mediante el uso de las siguientes ecuaciones obtenidas a partir de regresiones:

$$T_C = 1{,}54 \cdot L^{0{,}875} \cdot S^{-0{,}181}$$

$$R = 16{,}4 \cdot L^{0{,}342} \cdot S^{-0{,}790}$$

Dónde L es la longitud del cauce expresado en millas y S es la pendiente del drenaje principal expresada en pies sobre milla. Tanto R como Tc están expresados en horas.

- **Método Racional**

El método Racional probabilístico, usado en cuencas menores, se obtuvo con la ecuación (dimensionalmente homogénea):

$$Q_T = C_T * I_{T,d} * A$$

Dónde Q_T es el caudal máximo para el periodo de retorno T, C_T es el coeficiente de escorrentía para el periodo de retorno T, $I_{T,d}$ es la intensidad de la lluvia para el periodo de retorno T y la duración d y A es el área de la cuenca.

2.8.1.3.6 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

El índice de retención y regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción de características de la cuenca como climatología, geología, geomorfología, tipo de suelo, vegetación, e intervenciones antrópicas. Ese indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. En el presente estudio se utilizará la metodología propuesta por IDEAM (2019) la cual determina el índice con base en la curva de duración de caudales medios diarios.

"Esta curva de frecuencias permite conocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de los caudales medios y firmes, e interpretar, en forma general, las características del régimen hidrológico de un río, y el comportamiento de la retención y la regulación de humedad en la cuenca. Las curvas de duración o distribución de frecuencias acumuladas de los caudales medios diarios indican el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un valor dado. La forma y pendiente de estas curvas refleja la capacidad de regulación de la cuenca en la unidad de tiempo considerada. Adicionalmente, suministran información sobre el porcentaje del tiempo en que el río lleva un caudal superior o inferior a un determinado valor, pero no reflejan la distribución o secuencia de dicho periodo, ni el momento del año en que se produce. Esta curva sintetiza las características y la interacción de las condiciones geomorfológicas, geológicas, del suelo, de la vegetación, clima e intervención antrópica." (IDEAM, 2010)

La estimación del índice de retención y regulación hídrica resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios. La expresión matemática del cálculo es la siguiente:

$$(1)\ IRH = VP/Vt$$

Donde:

IRH: índice de retención y regulación hídrica

VP: volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

Vt: volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

Los valores obtenidos con la estimación del IRH se agrupan en rangos. A cada rango se le asigna una calificación cualitativa, que corresponde a la descripción ilustrada en la Tabla 2-33.

Tabla 2-33. Calificación de los rangos de valores del índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Rango de valores del indicador	Calificación	Descripción
>0,85	MUY ALTA	Muy alta retención y regulación de humedad.
0,75 – 0,85	ALTA	Alta retención y regulación de humedad.
0,65 – 0,75	MODERADA	Media retención y regulación de humedad.
0,50 – 0,65	BAJA	Baja retención y regulación de humedad.

Rango de valores del indicador	Calificación	Descripción
≤0,50	MUY BAJA	Muy baja retención y regulación de humedad.

2.8.1.3.7 Dinámica fluvial del río Cocorná

La dinámica fluvial de una corriente está definida por dos factores principales. El primero consiste en la morfología fluvial, la cual resume el comportamiento histórico hidrológico y de transporte de material en el cauce del río, condiciones que derivan en la formación de determinado tipo de cauce. El segundo factor es la hidrología, la cual describe los regímenes de los caudales medios, máximos y mínimos actuales en el cauce estudiado.

Para caracterizar la morfología fluvial de dichas corrientes se utilizó el método propuesto por Rosgen (1997), en el cual, la dinámica fluvial de los ríos, se clasifica según la relación de estrechamiento ("*Entrenchment Ratio*"), la relación Ancho/Profundidad ("*Width/Depth*"), la sinuosidad del cauce ("*Sinuosity*"), la pendiente del fondo ("*Slope*") y el material de conformación del fondo ("*Bed Rock*").

Posterior al análisis de la morfología fluvial del río Cocorná, se realizó la evaluación de la alteración de la dinámica fluvial del río en el tramo con caudal reducido cuando la PCH entre en operación. Se evaluaron los caudales en condicione naturales y en condiciones alteradas (con la central en operación).

Así mismo, se estudió la posible alteración del régimen natural de inundaciones en el tramo intervenido por las obras del proyecto. Se realizó la modelación hidráulica del tramo mencionado, con el fin de verificar el comportamiento hidráulico en el río Cocorná, en dos escenarios diferentes: antes y después de la construcción de las obras. Los resultados de la modelación hidráulica realizada con el Modelo HEC-RAS 4.1.0, permiten identificar los tramos del río donde se puede presentar una alteración de su dinámica fluvial, debido a la construcción de las obras y durante la operación de la PCH, y además, permiten verificar que las obras proyectadas no van a ser afectadas por inundaciones ni por avenidas torrenciales.

Para el estudio de sedimentos, el cual incluye el estudio del transporte, balance y estimación de cargas de sedimento a nivel de cuenca, con base en la información geológica, geomorfológica, cartográfica, climatológica, edafológica y de coberturas, obtenida tanto con información primaria como secundaria, se aplica el Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés), el cual predice la pérdida de suelo promedio anual (t/ha/año) de una superficie de análisis; presentado por Renard, Foster, Weesies, & McCool (1997), el cual adapta el modelo USLE de Wischmeier & Smith (1978):

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde A es la pérdida de suelo medida en toneladas/hectárea/año, R es el factor asociado a la lluvia y la escorrentía, K es el factor de erodabilidad del suelo, L es la longitud de la pendiente, S es la inclinación de la pendiente (normalmente agrupados como LS), C responde al tipo de cobertura y P corresponde a las prácticas de manejo. En esta ecuación, la pérdida de suelo es obtenida como una multiplicación directa de diferentes factores y no es una suma ponderada. La aplicación de modelo RUSLE a escala de cuenca se desarrolla con herramientas de información geográfica (SIG), en la cual se realiza un álgebra de mapas con cada una de los factores (R, K, LS, C, P) como capas de entrada.

Al aplicar el modelo RUSLE se obtiene el valor estimado de suelo erosionado y transportado debido a la acción del agua. Adicionalmente, al obtener los valores estimados de pérdida anual de suelo, podemos calcular la tasa de denudación de la cuenca (lámina de suelo perdida por unidad de tiempo). El modelo es validado con estudios similares realizados en la cuenca de análisis o en las unidades hidrográficas vecinas, en especial con aquellas que presenten condiciones (geología, geomorfología, clima y pendientes) similares a las de la cuenca de análisis.

2.8.1.4 Calidad del Agua

Para la caracterización de la calidad del agua en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Cocorná III, se realizaron monitoreos de características fisicoquímicas y microbiológicas en agua superficial, en tres puntos del Río Cocorná (captación, tramo intermedio y descarga), durante las temporadas lluviosa y seca de la zona. El muestreo y el análisis de las muestras fueron realizados por laboratorios ANALTEC (acreditado por el IDEAM mediante la Resolución No 2657 del 25 de octubre de 2013) y SGS (acreditado por el IDEAM mediante Resoluciones 1566 del 21 de Julio de 2016, 2271 del 05 de octubre de 2016, 1083 del 16 de mayo de 2017 y 2759 del 22 de noviembre de 2017), realizados respectivamente entre el 11 y 12 de noviembre de 2015 (temporada de lluvias) y, 4 y 5 de septiembre de 2018 (temporada seca). Los puntos de monitoreo y su ubicación son mostrados respectivamente en la Tabla 2-34 y la Figura 2-9.

Tabla 2-34. Puntos de monitoreo de calidad del agua en el Río Cocorná

Punto de monitoreo	Monitoreo	Latitud	Longitud	Fecha (aaaa/mm/dd)	Hora (24h)
Captación	Monitoreo 2015	06°02'35,2" N	75°12'45,4" W	2015/11/11	12:30
	Monitoreo 2018	06°02'31" N	75°12'35" W	2018/09/04	15:00
Intermedio	Monitoreo 2015	06°02'33,1" N	75°11'45,6" W	2015/11/11	15:40

Punto de monitoreo	Monitoreo	Latitud	Longitud	Fecha (aaaa/mm/dd)	Hora (24h)
	Monitoreo 2018	06°02’33” N	75°11’44” W	2018/09/05	10:00
Descarga	Monitoreo 2015	06°02’36,3” N	75°10’53,1” W	2015/11/12	10:40
	Monitoreo 2018	06°02’46” N	75°10’34” W	2018/09/05	16:00

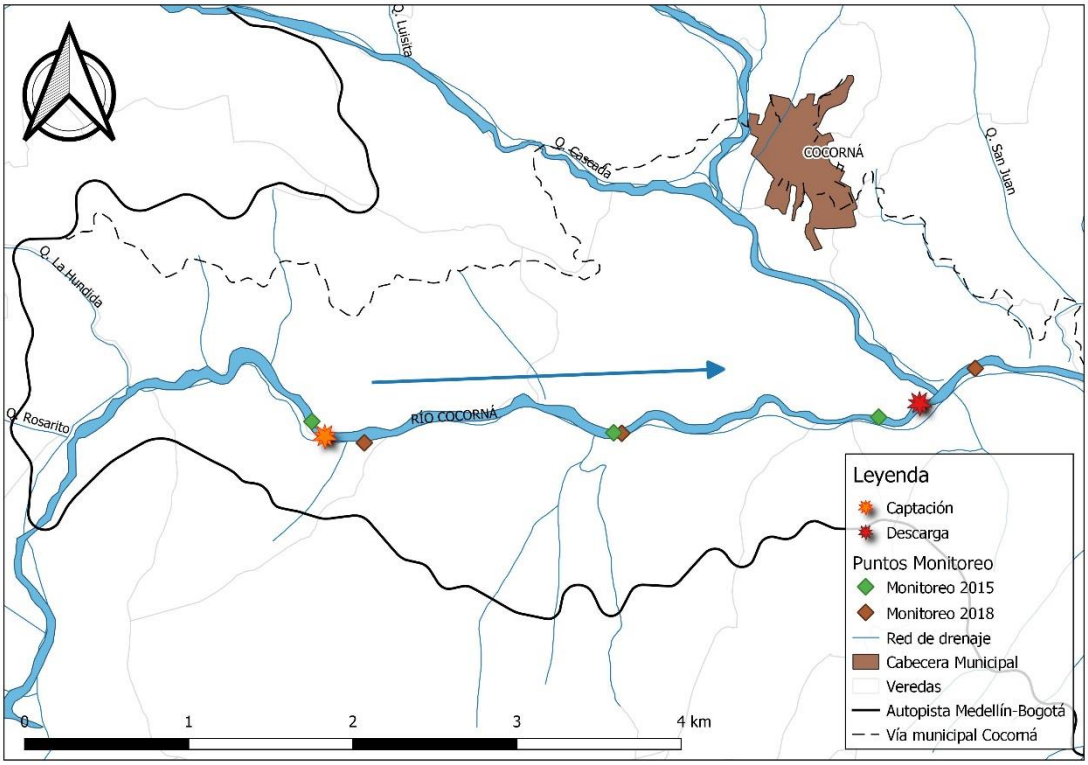


Figura 2-9. Ubicación de los puntos de monitoreos de calidad del agua

2.8.1.4.1 Método de toma de muestra y transporte

La toma de las muestras para el análisis fisicoquímico y microbiológico fue realizada siguiendo los protocolos internos de cada laboratorio, los cuales están avalados por el IDEAM; estos protocolos tienen en cuenta las precauciones necesarias de modo que se asegure la integridad física, química y biológica de la muestra y que esta sea verdaderamente representativa.

Las muestras fueron tomadas en recipientes previamente lavados para evitar la contaminación de las muestras, adecuados para cada tipo de parámetro, debidamente etiquetados e identificados. Todas las muestras fueron refrigeradas inmediatamente después de tomadas, a una temperatura de 4 ± 2°C, y preservadas adecuadamente para los parámetros que así lo requirieran (como se muestra en la Tabla 2-35).

2.8.1.4.2 Método de análisis fisicoquímico y microbiológico

En análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros se efectuó bajo normas técnicas y métodos oficialmente aceptados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012, en las metodologías oficialmente aceptadas y bajo los criterios establecidos por el Decreto 1076 de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los métodos de análisis por cada parámetro son mostrados en la Tabla 2-35.

Tabla 2-35. Métodos de preservación y de análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros analizados

Parámetros	Recipiente	Preservación	Método
Acidez, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	S.M. 2310-B - Volumétrico - 4,9 mg/L - A
Alcalinidad, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	S.M. 2320-B
Arsénico, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Cadmio, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Calcio, mg/L			
Cianuro Total, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	ICP-MS EPA 208
Cloruros, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	S.M. 4500-Cl-B
Cobre, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Coliformes Totales, NMP/100 ml	Vidrio Estéril	Esterilización + Refrigeración	Sustrato definido SM 9223B
Coliformes Termotolerantes, NMP/100 ml *	Vidrio Estéril	Esterilización + Refrigeración	Sustrato definido SM 9223B
E. Coli , UFC	Vidrio Estéril	Esterilización + Refrigeración	S.M. 9223 B
Color Triestimular	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Espectrofotométrico ISO 7887:2011. Metodo B
Conductividad	In situ	--	Electrométrico SM 2510-B

Parámetros	Recipiente	Preservación	Método
Cromo Hexavalente, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	Colorimétrico SM 3500 Cr-B
DBO5, mg O2/L	Vidrio	Refrigeración	Electrométrico SM 5210 B / EPA 360.3
DQO, mg O2/L	Vidrio (Botella Winkler)	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH<2	S.M. 5220 D - Reflujo cerrado colorimétrico
Detergentes, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Colorimétrico S.M. 5540-C
Dureza Cálcica, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 hasta pH <2	Volumétrico SM 3500-Ca B
Dureza Total, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	Volumétrico SM 2340 C
Fenoles, mg/L	Vidrio	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH<	Fotométrico Directo SM 5530 B, C
Fosforo Total, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH <2	Colorimétrico SM 4500 P, E
Grasas y Aceites mg/L	Vidrio Boca ancha	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH<2	Partición Infrarrojo NTC 3362 Método C
Hidrocarburos Totales, mg/L	Vidrio boca ancha	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH <2	Partición Infrarrojo NTC 3362 Método C, F
Hierro, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Magnesio, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Mercurio, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Níquel, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Nitratos, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Cromatografía Iónica EPA 300.0
Nitritos, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Cromatografía Iónica EPA 300.0
Nitrógeno Amoniacal, NH3 – N/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH <2	Volumétrico SM 4500-NH3 B, C
Nitrógeno Total, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + H2SO4 Hasta pH <2	Kjeldhal/ Titulación
Ortofosfatos, mg/L	Vidrio Ámbar	Refrigeración	Cromatografía Iónica EPA 300.0

Parámetros	Recipiente	Preservación	Método
Oxígeno disuelto, mg/L	In situ	--	Electrodo Luminiscencia EPA 360.3
Pesticidas Organoclorados	Vidrio Ámbar	Refrigeración, pH neutro	Cromatografía de gases EPA 3510C / EPA 8081 B
pH, unidades	In situ	--	S.M. 4500-H+ B
Temperatura, °C	In situ	--	S.M. 2550-B
Plomo, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Potasio, mg/L			
Sodio, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8
Sulfatos, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Cromatografía Iónica EPA 300
Turbiedad, NTU	Vidrio, Plástico	Refrigeración en la oscuridad	Nefelométrico SM 2130 B
Sólidos Disueltos Totales, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Gravimétrico SM 2540 C
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Gravimétrico SM 2540 D
Sólidos Suspendidos Volátiles, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Gravimétrico SM 2540 E
Sólidos Sedimentables, ml/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración	Gravimétrico SM 2540 F
Zinc, mg/L	Vidrio, Plástico	Refrigeración + HNO3 Hasta pH <2	S.M. 3030K - EPA 200.8

Fuente: SGS, 2018

Para la medición de parámetros in situ se usaron electrodos (pH-metro, oxímetro, conductímetro o multiparamétrico), los cuales fueron previamente calibrados en el punto de monitoreo, lavados con agua destilada y purgados con agua del punto de muestreo; seguidamente, fueron sumergidos en el cuerpo de agua hasta alcanzar el equilibrio térmico y la estabilización de la medida. El laboratorio SGS utilizó un multiparamétrico HACH (Sonda 9008 - 9002), mientras que el laboratorio ANALTEC usó los equipos pH-metro portátil HANNA HI 8314, oxímetro HANNA HI 9146 y conductímetro HANNA HI 99300 para la determinación de pH y temperatura, conductividad, y oxígeno disuelto, respectivamente.

2.8.1.4.3 Marco Normativo

La calidad del agua superficial fue evaluada comparando los resultados obtenidos con los criterios de calidad establecidos por el Decreto 1076 del 2015 para los usos agrícola (art. 2.2.3.3.9.5.), pecuario (art. 2.2.3.3.9.6.) y recreativo (art. 2.2.3.3.9.7. y

2.2.3.3.9.8.). Los valores límites de calidad para los usos enunciados son mostrados en la Tabla 2-36.

Tabla 2-36. Criterios de calidad para usos agrícola, pecuario y recreativo

Parámetro	Expresado como	Valor (uso agrícola)	Valor (uso pecuario)	Valor (uso recreativo - contacto primario)	Valor (uso recreativo - contacto secundario)
Arsénico	As	0,1	0,2	---	---
Cadmio	Cd	0,01	0,05	---	---
Zinc	Zn	2,0	25,0	---	---
Cobre	Cu	0,2	0,5	---	---
Coliformes fecales	NMP	1000 NMP/100 mL*	---	200 NMP/100 ml	---
Coliformes totales	NMP	5000 NMP/100 mL*	---	1000 NMP/100 mL	5000 NMP/100 mL
Compuestos Fenólicos	Fenol	---	---	0,002	---
Cromo	Cr^{+6}	0,1	1,0	---	---
Hierro	Fe	5,0	---	---	---
Mercurio	Hg	---	0,01	---	---
Nitratos + Nitritos	N	---	100,0	---	---
Nitrito	N	---	10,0	---	---
Níquel	Ni	0,2	---	---	---
Oxígeno disuelto		---	---	70% concentración de saturación	70% concentración de saturación
pH	Unidades	4,5 - 9,0 unidades	---	5,0 – 9,0 unidades	5,0 – 9,0 unidades
Plomo	Pb	5,0	0,1	---	---
Tensoactivos / Detergentes	SAAM	---	---	0,5	0,5

Fuente: MADS, 2015
Las unidades son mg/L excepto cuando se especifiquen otras unidades
*Cuando se use para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto

2.8.1.4.4 Índices de Calidad del Agua (ICA) y Contaminación (ICO)

Para la estimación del Índice de Calidad del Agua (ICA) se utilizó la metodología para la estimación del ICA usada por Cornare en la cuenca del Río Samaná Norte (Cornare & UdeA, 2011), la cual es una modificación de la metodología propuesta por el IDEAM, a su vez adaptada del National Federation Sanity de los Estados Unidos, con ajustes que tienen en cuenta las características particulares de la región (e.g. actividades productivas desarrolladas y características de los vertimientos generados), haciendo el índice mucho más representativo para las particularidades de la cuenca. Estos ajustes se ven reflejados en los factores de ponderación de las variables para el cálculo del ICA (Tabla 2-37). Las fórmulas para la estimación del ICA son las siguientes:

$$ICA = \sum_i W_i * I_i$$

Dónde ICA Es el Índice de Calidad del Agua de una determinada corriente superficial; W_i es el factor de ponderación o peso relativo asignado para la variable de calidad i; I_i es el valor calculado de la variable i, obtenidos a partir de las siguientes ecuaciones:

Ecuación funcional de saturación del oxígeno disuelto:

$$I_{\%Sat} = \begin{cases} 1 - (1 - 0{,}01 * \%Sat); & para\ \%Sat \leq 100\% \\ 1 - (0{,}01 * \%Sat); & para\ \%Sat > 100\% \end{cases}$$

Ecuación funcional de coliformes fecales:

$$I_{Ecoli} = \begin{cases} 0{,}98; & para\ Ecoli \leq 50/100mL \\ 0{,}98 * e^{(Ecoli-50)*(-0{,}0009917754)}; & para\ 50/100\text{mL} < Ecoli \leq 1600/100mL \\ 0; & para\ Ecoli > 1600/100mL \end{cases}$$

Ecuación funcional de sólidos suspendidos totales:

$$I_{SST} = \begin{cases} 1; & para\ SST \leq 4{,}5mg/L \\ 1 - (-0{,}02 + 0{,}003 * SST); & para\ 4{,}5mg/L < SST < 320mg/L \\ 0; & para\ SST \geq 320mg/L \end{cases}$$

Ecuación funcional de demanda bioquímica de oxígeno:

$$I_{DBO5} = \begin{cases} 1; & para\ DBO5 \leq 2mg/L \\ 1 - (-0{,}05 + 0{,}70 \log_{10} DBO5); & para\ 2mg/L < DBO5 < 30mg/L \\ 0; & para\ DBO5 \geq 30mg/L \end{cases}$$

Ecuación funcional para conductividad eléctrica:

$$I_{Cond} = 1 - 10^{-3{,}26 + 1{,}34 \log_{10} Cond}; \quad si\ I_{cond} < 0 \Rightarrow I_{Cond} = 0$$

Ecuación funcional para pH:

$$I_{pH} = \begin{cases} 0{,}10; & para\ pH < 4 \\ 0{,}02628419 * e^{pH*0{,}520025}; & para\ 4 \leq pH < 7 \\ 1; & para\ 7 \leq pH < 8 \\ e^{(pH-8)(-0{,}5187742)}; & para\ 8 \leq pH \leq 11 \\ 0{,}10; & para\ pH > 11 \end{cases}$$

La Tabla 2-37 muestra los factores de ponderación para cada variable de la ecuación, definidos por Cornare para la cuenca del Río Samaná Norte.

Tabla 2-37. Variables y ponderaciones del ICA para la cuenca del Río Samaná Norte

Variable	Ponderación (%)
I_{pH}	8
I_{DBO5}	17
I_{SST}	15
I_{Cond}	12
$I_{\%Sat}$	30
I_{Ecoli}	18

Fuente: Cornare & UdeA (2011)

Posterior al cálculo del ICA, este se clasifica en rangos cualitativos que dan cuenta de la calidad del agua de la fuente hídrica. Los rangos de clasificación del ICA estimado con la metodología de CORNARE para la cuenca del Río Samaná Norte son mostrados en la Tabla 2-38.

Tabla 2-38. Rangos de clasificación del ICA

Clasificación	Rango Numérico	Color
Muy malo	0 - 0,25	Rojo
Malo	0,26 - 0,50	Naranja
Medio	0,51 - 0,70	Amarillo
Bueno	0,71 - 0,9	Verde
Excelente	0,91 - 1,00	Azul

Fuente: Cornare & UdeA (2011)

Para la estimación de los índices de contaminación (ICO) se usaron las ecuaciones propuestas por Ramírez, Restrepo, & Viña (1997), los cuales complementan el análisis de la calidad del agua, calificando la contaminación del recurso hídrico a través de un análisis diferenciado de componentes, tales como la mineralización

(ICOMI), contaminación orgánica (ICOMO), contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y contaminación trófica (ICOTRO).

- Índice de contaminación por mineralización:

$$ICOMI = \frac{I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}}{3}$$

$$I_{Conductividad} = 10^{-3{,}26+1{,}34*\log_{10} Conductividad}$$

$si\ Cond > 270 \mu S/cm \Rightarrow I_{cond} = 1$

$$I_{Dureza} = 10\text{^}(-9{,}09 + 4{,}40 * \log_{10} Dureza$$

$si\ Dureza > 110\ mg/L \Rightarrow I_{Dureza} = 1$
$si\ Dureza < 30\ mg/L \Rightarrow I_Dureza = 0$

$$I_{Alcalinidad} = -0{,}25 + 0{,}005 * Alcalinidad$$

$si\ Alc > 250\ mg/L \Rightarrow I_{Alc} = 1$
$si\ Alc < 50\ mg/L \Rightarrow I_{Alc} = 0$

- Índice de contaminación por materia orgánica:

$$ICOMO = \frac{I_{DBO} + I_{coliformes\ totales} + I_{\%O2}}{3}$$

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 * Log_{10} DBO$$

$si\ DBO > 30\ mg/L \Rightarrow I_{DBO} = 1$
$si\ DBO < 2\ mg/L \Rightarrow I_{DBO} = 0$

$$I_{Col.tot} = = -1{,}44 + 0{,}56 * Log_{10} Col.tol$$

$si\ Col.tot > 20000\ NMP/100\ mL \Rightarrow I_{col.tot} = 1$
$si\ Col.tot < 500\ NMP/100\ mL \Rightarrow I_{col.tot} = 0$

$$I_{\%O2} = 1 - 0.01 * \%O_2$$

$si\ \%O_2 > 100\% \Rightarrow I_{\%O2} = 0$

- Índice de contaminación por sólidos suspendidos:

$$ICOSUS = -0{,}02 + 0{,}003 * SST$$

$si\ SST > 340\ mg/L \Rightarrow ICOSUS = 1$
$si\ SST < 10\ mg/L \Rightarrow ICOSUS = 0$

- Índice de contaminación trófica:

El ICOTRO corresponde a la concentración del fósforo total y se clasifica de la siguiente manera:

- Oligotrófico < 0,01 (mg/L)
- Mesotrófico 0,01 - 0,02 (mg/L)
- Eutrófico 0,02 - 1 (mg/L)
- Hipereutrófico > 1 (mg/L)

Luego del cálculo de los ICO, estos se clasifican en rangos cualitativos que dan cuenta de la contaminación del agua. Los rangos de clasificación del ICO (excepto el ICOTRO) son mostrados en la Tabla 2-39.

Tabla 2-39. Rangos de clasificación del ICO

ICO	Grado de Contaminación	Color
0-0,2	Ninguna	Azul
>0,2-0,4	Baja	Verde
>0,4-0,6	Media	Amarillo
>0,6-0,8	Alta	Naranja
>0,8-1,0	Muy Alta	Rojo

Fuente: Ramírez, Restrepo, & Viña (1997)

2.8.1.5 Hidrogeología

A partir de (Cornare, 2017) se enfocó en la identificación y caracterización de los acuíferos presentes en el área de influencia y que podrían ser susceptibles de intervención o afectación por el proyecto, para ello se debe establecer una línea base como punto de referencia para el posterior monitoreo de este recurso en términos de calidad y cantidad. Para este proceso se deben identificar los acuíferos de carácter regional, sus zonas de recarga y descarga, direcciones generales de flujo, el tipo de acuífero, calidades y tipos de usos actuales, considerando además los lineamientos vigentes para la presentación de mapas hidrogeológicos del SGC, los lineamientos conceptuales y metodológicos para el componente de aguas subterráneas de la Evaluación Regional del Agua - ERA, publicado por el IDEAM y los lineamientos de la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos del Minambiente.

Dentro de las actividades a realizar en el área de estudio se tienen las exploraciones del subsuelo (sondeos eléctricos verticales y apiques), apoyándose en la bibliografía disponible con el objetivo de identificar la profundidad aproximada del nivel freático en la zona donde se proyectan las obras principales (captación, casa de máquinas y línea de conducción). La información cartográfica (planta y perfiles) para el área de influencia del componente hidrogeológico se presenta a escala 1:25.000 o más detallada según lo solicitan los términos de referencia (Cornare, 2017)), localizando puntos de agua, tipo de acuífero en caso de encontrar, dirección de flujo del agua subterránea y zonas de recarga y descarga.

2.8.1.6 Atmósfera

2.8.1.6.1 Clima

Para realizar la caracterización climática de la Cuenca del Río Cocorná, se solicitaron registros de las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (IDEAM), ubicadas en la Cuenca del Río Samaná Norte, de la cual hace parte la Cuenca del Río Cocorná. Los registros entregados por esta entidad fueron analizados para identificar la cantidad y calidad de información, esto con el objetivo de identificar: datos atípicos, consistencia y homogeneidad de la serie, y si se debe y/o puede aplicar alguna técnica de llenado de datos faltantes. En algunos casos puntuales, debido a la ausencia de registros o a la escasez de éstos, se debió recurrir al análisis de información secundaria, tal como el Atlas Interactivo del IDEAM, el cual presenta datos y mapas de diferentes variables climáticas a nivel nacional, y en otros casos se aplicaron ecuaciones que describen el comportamiento de cierta variable respecto a otras. Las ecuaciones utilizadas son reportadas en artículos científicos indexados, los cuales son el resultado de trabajos de investigación realizados en nuestro país.

Las características de las estaciones del IDEAM utilizadas, así como su ubicación respecto a la Cuenca del Río Cocorná y a la Cuenca del Río Samaná Norte se presentan en la Figura 2-10 y en la Tabla 2-40.

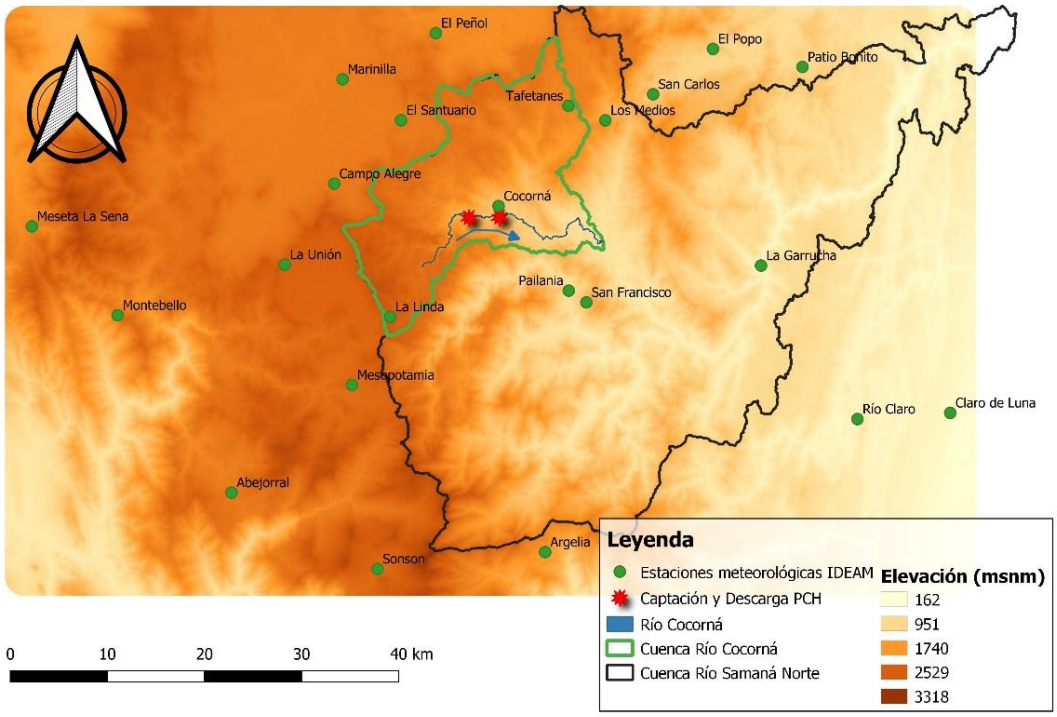


Figura 2-10. Ubicación de las estaciones del IDEAM solicitadas.

Tabla 2-40. Características de las estaciones del IDEAM solicitadas

Nombre	Código	Categoría	Tecnología	Altitud	Longitud[1] (m)	Latitud[1] (m)
La Unión	26180170	Pluviométrica	Convencional	2530	855629.8	1155224.9
La Linda	23080790	Pluviométrica	Convencional	2620	866476.8	1149853.8

Nombre	Código	Categoría	Tecnología	Altitud	Longitud[1] (m)	Latitud[1] (m)
Patio Bonito	23080800	Pluviográfica	Convencional	975	908966.7	1175582.1
El Peñol	23085110	Climática Ordinaria	Convencional	247	871194.1	1179069.3
Pailania	23087200	Limnimétrica	Convencional	285	884887.1	1152547.8
El Popo	23080930	Pluviográfica	Convencional	110	899745.7	1177440.4
Campo Alegre	23080650	Pluviométrica	Convencional	1850	860718.5	1163558.1
La Garrucha	23087190	Limnimétrica	Convencional	980	904700.2	1155131.1
Sonson	26180180	Pluviográfica	Convencional	2180	865184.0	1123890.8
Meseta La Sena	27010790	Pluviométrica	Convencional	1700	829584.2	1159164.3
Río Claro	23070020	Pluviométrica	Convencional	449	914631.2	1139319.5
Cocorná	23080750	Pluviométrica	Convencional	1455	877654.4	1161259.9
Argelia	23055070	Meteorológica Especial	Convencional	1755	882455.4	1125623.2
San Carlos	23085220	Climática Principal	Convencional	1113	893584.9	1172769.1
San Carlos**	23085130	Climática Ordinaria	Convencional	160	899745.7	1177440.4
San Carlos*	23080490	Pluviométrica	Convencional	160	899745.7	1177440.4
Abejorral	26180160	Pluviométrica	Convencional	2450	850143.3	1131747.4
Argelia Antioquia	23050420	Pluviográfica	Automática con Telemetría	1740	882467.6	1125613.9
San Francisco	23085140	Climática Ordinaria	Convencional	1325	886705.8	1151340.0
El Santuario	23080920	Pluviográfica	Convencional	1250	867601.0	1170099.3
Marinilla	23080640	Pluviométrica	Convencional	2150	861586.3	1174319.4
Tafetanes	23080820	Pluviométrica	Convencional	2180	884855.9	1171574.9
Los Medios	23080910	Pluviométrica	Convencional	1630	888663.1	1170086.8
Claro de Luna	23070010	Pluviométrica	Convencional	3347	924193.6	1139958.3
Montebello	26180200	Pluviométrica	Convencional	560	838401.0	1150013.7
Mesopotamia	26185020	Climática Ordinaria	Convencional	2408	862551.0	1142823.3

[1] Coordenadas en sistema de referencia Magna Colombia Origen Bogotá EPSG 3116
* Las estaciones San Carlos* y San Carlos** son estaciones independientes de San Carlos y El Popo, poseen diferentes tecnología de recolección de información y están disponibles para diferentes temporadas

2.8.1.6.1.1 Análisis Estadístico

Con el fin de verificar la homogeneidad, consistencia y pertinencia de las series de tiempo entregadas por el IDEAM, inicialmente se realiza un análisis exploratorio, en el que se caracterizan las series a través de un análisis gráfico, y estadística descriptiva. Este análisis permite identificar datos faltantes y saltos en la serie de tiempo. Por otra parte, también se incluyen análisis de valores atípicos, análisis de masa simple, análisis de homogeneidad, análisis de datos faltantes y llenado de faltantes.

- Homogeneidad

Se verifica la homogeneidad de las series con el fin de identificar si algún cambio externo como el traslado de estaciones, cambios en el entorno de la estación u otro, afectaron las mediciones realizadas. Para esta verificación se realizaron análisis de masa simple en una escala mensual. Este análisis permite identificar saltos en el grafico acumulado mensual de la variable analizada, con los que se puede determinar si existe un cambio considerable en las condiciones de medición de la estación.

- Valores Atípicos

Con el fin de ampliar el análisis exploratorio e identificar datos atípicos en las series suministradas por el IDEAM, se construyen diagramas de cajas y bigotes o boxplots, que son un tipo de gráfico utilizado en la estadística descriptiva, creado por el matemático John Tukey en 1970 y se difundió en 1977 (Tukey, 1977). Los diagramas de cajas y bigotes son una formula común de presentar los principales estadísticos de una serie a través de cuartiles. Tal como se puede apreciar en el modelo de diagrama presentado en la Figura 2-11, el diagrama se compone de una caja, dos brazos o bigotes y los valores atípicos, extremos o outliers.

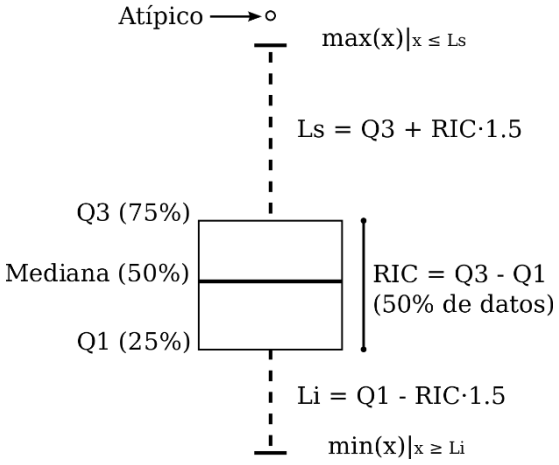


Figura 2-11. Esquema del diagrama de cajas y bigotes o boxplot

Fuente: Imagen bajo licencia licencias Creative Commons de Wikipedia

La caja está construida por las líneas de los cuartiles 1 (Q1) y 3 (Q3), que corresponden al 25% y 75% de los datos, la caja contiene la línea del cuartil 2 (Q2), que corresponde al valor por debajo del cual se encuentra el 50% de los datos, es decir, la mediana. La longitud de los brazos o bigotes corresponde a 1,5 veces la diferencia Q3-Q1, lo cual es definido como el rango intercuartílico (RIC). Los valores que se ubiquen por debajo o por encima de dicho rango son clasificados en la propuesta de Tukey como valores atípicos. Es importante tener presente que hay diferentes métodos para la identificación de los outliers y que un valor atípico no es igual a un valor erróneo, por lo cual se deben seguir criterios objetivos y/o tener un juicio de experto a la hora de definir cuáles valores atípicos se eliminarán del análisis o si por el contrario se tomará un enfoque alternativo como otorgarle un menor peso o ponderación para reducir su influencia en el análisis estadístico (Analytical Methods Committee, 1989).

- Datos Faltantes

A la hora de definir cuál es al valor máximo aceptable de datos faltantes en una serie, para establecer si se descarta o no su análisis, se debe tener en cuenta las características de la variable estudiada. La humedad relativa, por ejemplo, es una variable independiente de la dimensión espacial, característica definida en algunas áreas de estudio como variables intensivas. Lo anterior significa que para estudiar el comportamiento de la humedad relativa no se realiza la acumulación de la variable, pues no tiene ningún sentido físico estudiar cuál es la suma de la humedad relativa media diaria durante un mes. Esto mismo ocurre con variables como la temperatura, la radiación solar, la nubosidad, entre otras. Por el contrario, para las variables definidas como extensivas, las cuales dependen de la magnitud espacial y se puede acumular, como el caso de la precipitación, se deben tener en cuenta otros criterios, puesto que los faltantes pueden afectar fuertemente los acumulados mensuales o anuales asociados a dichas variables.

Por lo anteriormente descrito, el porcentaje de datos faltantes se define por la naturaleza de la variable y la disponibilidad de registros en la zona, puesto que estos últimos son limitantes para la caracterización que se quiere realizar. Los porcentajes máximos aceptables de datos faltantes se presentan explícitamente en el desarrollo del análisis contenido en el capítulo de caracterización abiótica del presente EIA para cada variable. Aunque, en términos generales, para el caso de variables instantáneas (intensivas) en lo posible se tomó como aceptables todo aquel mes que tuviera menos del 30% de datos faltantes, mientras que, para las acumulativas, se tomaron en lo posible aquellos meses que poseían menos del 10% de datos faltantes. En el caso de la escala anual, para ambas variables se tuvieron en cuenta aquellos años que contaban con más del 70% de los meses.

- Llenado de Series

Para el llenado de las series se hizo uso de todos los registros disponibles de cada variable, sin importar si hacían parte de un mes con pocos datos. Inicialmente, se calculó el promedio diario multianual de los registros de cada estación, con la finalidad de crear un vector de 366 días para llenar todos aquellos días de los meses que

cumplían con las características aceptables para datos faltantes previamente descritas. Esta metodología se adoptó con el propósito de aprovechar al máximo los registros disponibles, puesto que son bastante limitados.

En el caso de las variables acumuladas, en las que son necesarios registros anuales completos (todos los meses del año) para el análisis de acumulados anuales, se realizó un llenado de datos acumulados mensuales para años que cumplían con los criterios de datos faltantes establecidos. Este procedimiento se realizó de forma similar al realizado para la escala diaria, pero a partir de acumulados mensuales calculados de los registros diarios previamente llenados.

2.8.1.6.1.2 Distribución Temporal y Espacial de las Variables Hidroclimáticas

Para el análisis temporal de las variables climáticas en la cuenca en estudio (temperatura media, humedad relativa, evaporación y precipitación, entre otras), se utilizaron los registros de las variables entregados por el IDEAM, luego de realizar la caracterización y el llenado de datos correspondiente. Es de tener en cuenta que los máximos y los mínimos mensuales, para el caso en que no se encuentren registros, se tomaron: como el máximo valor promedio diario en el mes o el mínimo valor promedio diario del mes. Finalmente, en el caso la variación espacial se utilizaron fuentes alternativas como la información disponible del Atlas Iterativo del IDEAM y algunos métodos de interpolación con base en las series de datos analizadas. Es de tener en cuenta que fuentes de información alternativas como los Atlas del IDEAM, fueron utilizadas para el análisis de algunas variables que no contaban con registros para la zona en estudio. Estas variables son: la presión atmosférica, la radiación solar y la velocidad y dirección del viento.

- Radiación Solar, Presión Atmosférica, Dirección y Velocidad del Viento

Debido a que en la cuenca no hay estaciones hidrometeorológicas que monitoreen variables tales como la radiación solar, la presión atmosférica, y la dirección y la velocidad del viento, para su análisis se utilizó la información del Atlas Iterativo del IDEAM, el cual incluye el Atlas de Radiación Solar, el Atlas de Viento y el Atlas Climatológico de Colombia. Dicho Atlas incluye información mensual y anual multianual de las variables antes mencionadas en Colombia. También se utilizaron los archivos vectoriales (shape) que se encuentran en el repositorio del servidor WFS (Web Feature Service) del IDEAM, el cual incluye mapas promedio de variables ambientales medidas y/o modeladas durante los periodos 1971-2000. Para el caso de la presión atmosférica, se estimó su variación espacial mensual con base en las variaciones altitudinales obtenidas del modelo de elevación digital de la región de estudio. Esta estimación, se realiza mediante el modelo matemático desarrollado por Eslava-Ramírez (1995) que analiza el régimen de la presión atmosférica en Colombia. En este caso particular, la Cuenca del Río, para la estimación se utiliza modelo matemático mostrado en la Tabla 2-41.

Tabla 2-41. Ecuaciones de estimación de presión atmosférica a partir de variaciones altitudinales

Mes	Ecuación de regresión Presión (Y(hPa)) y Altitud (X(m))	Coeficiente de determinación
Enero	Y = 6.91678-0.00011586X	0.999975
Febrero	Y = 6.91674 - 0.00011576X	0.999984
Marzo	Y = 6.91691 -0.00011578X	0.999983
Abril	Y = 6.91716-0.00011577X	0.999987
Mayo	Y = 6.91769 - 0.00011587X	0.999986
Junio	Y = 6.91795-0.00011583X	0.999983
Julio	Y = 6.91795 - 0.00011587X	0.999978
Agosto	Y = 6.91801 -0.00011593X	0.999976
Septiembre	Y = 6.91798-0.00011604X	0.999977
Octubre	Y = 6.91748 - 0.00011597X	0.999979
Noviembre	Y = 6.91730-0.00011607X	0.99998
Diciembre	Y = 6.91714-0.00011609X	0.999978
Anual	Y = 6.91741 - 0.00011589X	0.999984

Fuente: Eslava-Ramírez (1995)

- Precipitación

Para la caracterización temporal de la precipitación se cuenta con 23 estaciones, de las cuales solo 3 se encuentran dentro de la Cuenca del Río Cocorná. El análisis del comportamiento espacial de la precipitación, se realizó por medio de la interpolación de la información de la precipitación de estaciones del IDEAM que se encuentran ubicadas dentro de la cuenca del río Samaná Norte o en cuencas vecinas. El método usado para la interpolación fue el de spline tipo “tensión” haciendo uso del Software ArcGIS.

- Nubosidad

Para la caracterización temporal de la nubosidad se cuenta con 4 estaciones ubicadas por fuera de la Cuenca del Río Cocorná, las cuales solo presentan registros mensuales, por lo que el análisis y caracterización de esta variable se restringe a esta escala de tiempo. Las 4 estaciones que contienen los registros para el análisis son: Mesopotamia, El Peñol, San Francisco y San Carlos.

- Evaporación

La caracterización de la evaporación en el área de influencia se llevó a cabo considerando las series de tiempo de las estaciones Mesopotamia, Argelia y San

Carlos, las cuales están por fuera de la zona de interés, sin embargo, son la única información disponible para esta.

- Humedad Relativa

La caracterización de la humedad relativa en el área de influencia se llevó a cabo promediando las series de las estaciones Mesopotamia, El Peñol, San Francisco y San Carlos. Estaciones que, aunque se encuentran por fuera de la cuenca de interés, contienen la única información disponible para la zona.

- Temperatura

Para llevar a cabo la caracterización de la temperatura en el área de influencia se promediaron las series de las estaciones San Francisco, San Carlos, El Peñol y Mesopotamia. Los registros se presentan de forma gráfica para analizar de forma descriptiva las posibles tendencias, estacionalidades, periodicidades o anomalías en los promedios mensuales multianuales.

Adicional al análisis temporal, y con el objetivo de mostrar el comportamiento espacial de la temperatura y ampliar el foco de análisis a toda la Cuenca del Río Samaná Norte, se recurrió a los mapas de temperatura media nacional que suministra libremente el IDEAM desde su servidor WFS.

2.8.1.6.2 Calidad de aire y ruido ambiental

La caracterización de la calidad del aire fue llevada a cabo mediante el monitoreo de los contaminantes criterio, establecidos por la Resolución 2254 de 2017 del MADS. Por su parte, el ruido ambiental fue caracterizado en día laboral y fin de semana, en jornada diurna y nocturna; y se realizó la interpolación por el método de ponderación de distancias inversas. Las metodologías detalladas de caracterización de cada componente están consignadas en el Capítulo 5 – Caracterización del área de influencia, sección Atmósfera, de este EIA.

2.8.2 Caracterización del Medio Biótico

2.8.2.1 Ecosistemas Terrestres

La información de los ecosistemas terrestres del área de influencia del proyecto se tomó del Mapa Nacional de Ecosistemas Marinos y Terrestres para Colombia (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2017), la cual fue delimitada al área de influencia de proyecto, posteriormente escalada a 1:25.000 y adaptada de acuerdo a la estructura del ANLA.

Esta información fue considerada también en la formulación del plan de compensación por perdida de diversidad, teniendo como referencia los criterios establecidos en el Manual de compensaciones ambientales del medio biótico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2018a) y la Resolución 112-6721 del 2017 expedido por

CORNARE. El factor de compensación promedio de 6 por encontrarse en el orobioma con bosque subandino oriental de la cordillera central y el orobioma con bosque andino y altoandino en el Magdalena medio de la cordillera central.

2.8.2.2 Coberturas de la Tierra

Las coberturas terrestres para el área de influencia biótica fueron construidas a partir de las coberturas reportadas en el POMCA del río Samaná Norte (Corporación Autónoma del Río Negro y Nare - CORNARE, 2017), las cuales fueron modificadas con la verificación de campo y las ortofotos tomadas por Praming S.A.S con una resolución espacial de 10 cm y temporal de 28/01/2020 (ver Anexo 13. GDB). La información de las coberturas se presentó teniendo en cuenta la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (Instituto de Hidrología, 2010).

2.8.2.3 Flora

2.8.2.3.1 Revisión de información secundaria

Previo al trabajo de campo se realizó una revisión bibliográfica con el fin de tener un listado con las posibles especies florales del área. Para esto se tuvo en cuenta la información reportada en el POMCA del río Samaná Norte y el estudio realizado previamente por PRAMING S.A.S para el proyecto aguas arriba de Cocorná I. Esta información fue ratificada y complementada con la información listada a continuación, la cual también fue empleada para la determinar las especies inventariadas que se encuentran amenazadas, son endémicas y están vedadas.

- El catálogo de flora de Antioquia (Idárraga-Piedrahíta et al., 2011), donde se precisó la información mediante filtros del origen de las especies (nativas o endémicas) para el municipio de Cocorná. Además, se consultó el hábito de cada especie, su nombre local, uso y se identificaron las especies amenazadas y endémicas.

- Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal et al., 2016), se empleó para verificar la taxonomía de las especies que se presentan en el área de influencia; además se verificaron endemismos en estas áreas.

- Resolución 1912 de 2017 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2017): Se verificaron las especies amenazadas en el área del proyecto de los grupos biológicos Bromelias, Orquídeas, Briófitos (Musgos, hepáticas, anthocerales) y líquenes

- Acuerdo 404 de CORNARE, por la cual se verifican las especies existentes en el área de proyecto con veda regional.

2.8.2.3.2 Captura de información primaria

La caracterización florística del área se realizó por del establecimiento de parcelas en el área de influencia del componente flora, las parcelas se ubicaron en cada una de las coberturas vegetales con presencia de componentes arbóreos, correspondientes a bosques riparios, vegetación secundaria y pastos arbolados. Esta información fue complementada con la información levantada para el inventario forestal al 100% en el área de intervención directa del presente proyecto. Los inventarios se realizaron en marzo del 2020 y complementados en agosto del 2020.

2.8.2.3.3 Inventario al 100%

En el área de intervención del proyecto Cocorná III se realizó un inventario al 100%, donde se midieron y marcaron los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayores a 10 cm, la marcación de los individuos se realizó con pintura asfáltica amarilla y posteriormente se georreferenciaron mediante un receptor –GPS Garmin. Las medidas dasométricas tomadas en campo fueron circunferencia a la altura del pecho (CAP), altura total (HT) y altura comercial (HC), además de la evaluación de las condiciones fitosanitarias cuando estas estuvieron presentes (Foto 2-1).

La medición de CAP de los árboles se realizó de forma perpendicular al eje del fuste y en el caso de pendientes se tomó la medida del 1,3 m en la parte alta de la pendiente. Además, se consideró que el tronco no tuviera irregularidades muy pronunciadas a los 1,3 m de altura, de lo contrario se modificó la altura de medición del diámetro. En la Figura 2-12 se presentan las consideraciones que se tuvieron en cuenta al medir el CAP y los posibles casos de modificación de la altura estándar de medición, como son: la presencia de bifurcaciones, tallos irregulares, presencia de raíces superficiales, presencia de rebrotes y arboles inclinados.

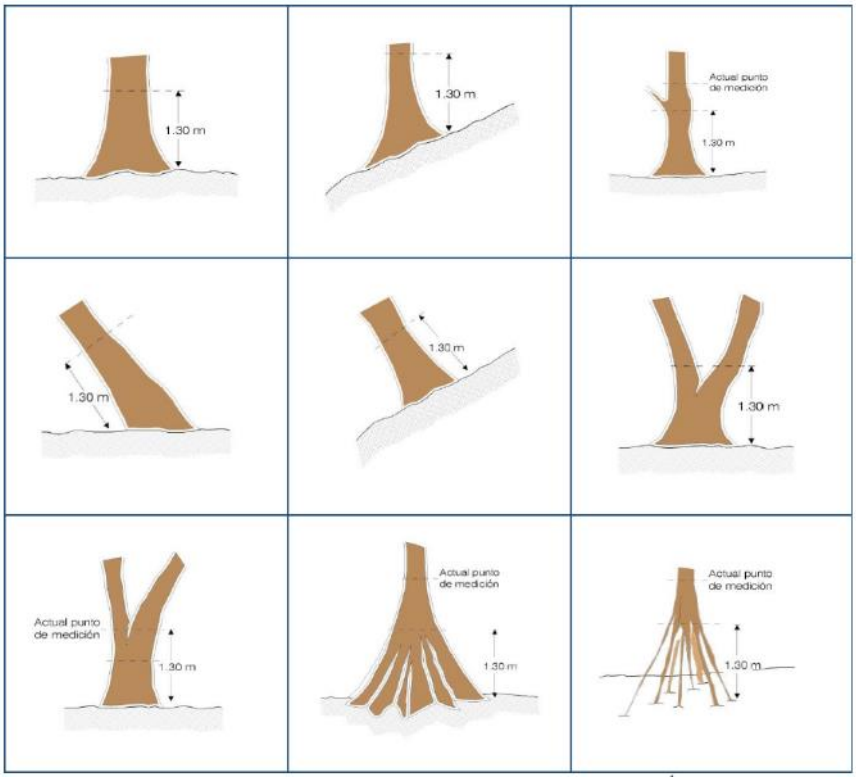


Figura 2-12 Medición de CAP teniendo en cuenta diferentes consideraciones

Fuente: (Dallmeier, 1992).

Todos los individuos fueron identificados hasta la menor clasificación taxonómica posible. Se colectaron muestras de las especies que no pudieron ser determinadas en campo, las cuales fueron prensadas con papel periódico y preservadas con alcohol al 70%, para su posterior identificación en el Herbario de Joaquín Antonio Uribe del Jardín Botánico (JAUM). La colección de especímenes se realizó bajo el permiso de colecta otorgado por CORNARE por medio de la Resolución 112-0273-2020 del 30 de enero del 2020.

2.8.2.3.4 Inventario por parcelas

Con el fin de caracterizar con una mayor precisión el área de influencia del componente flora del PCH Cocorná III se procedió a realizar el levantamiento de transeptos rectangulares de 4 x 50 m, es decir de 200 m^2 (0,02 ha) en las coberturas con individuos arbóreos (bosque ripario, vegetación secundaria y pastos arbolados).

El diseño de muestreo consistió en un muestreo aleatorio simple por cada una de las coberturas con el fin de asegurar la representatividad de toda el área. La intensidad de muestreo la determino el error del muestreo el cual fue menor al 15% en cada una de las coberturas. La cual se calcula con los siguientes estadísticos:

Promedio:	$\bar{X} = \sum x/n$
Varianza:	$S_X^2 = \sum_i^N (x - \bar{X})^2/(N-1)$
Covarianza:	$CV = (S_x/\bar{X}) * 100$
Error de estimación de la media:	$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_X^2}{n}\left(1 - \frac{n}{N}\right)$
Error de estimación del total poblacional:	$S_{\hat{X}}^2 = N^2 S_{\bar{X}}^2$
Error muestral promedio:	$E\% = \frac{t_{1-\alpha/2}^{n-1} S_{\bar{X}}}{\bar{X}} * 100$
Límites de confianza:	$LC(X) = \bar{X}(1 \pm E\%/100)$

En la Tabla 2-42, se muestra el área de cada una de las coberturas, el número de parcelas requeridas para realizar un inventario al 100% y el número de parcelas realizados para cumplir con el tamaño de muestra equivalente a un error menor del 15%.

Tabla 2-42. Estimación de número de parcelas a realizar en el inventario.

Cobertura	Área (ha)	Área (%)	# de parcelas población total	# parcelas Muestreo E<15%
Bosque ripario	24,12	69,7	1206	33
Vegetación secundaria	3,55	10,3	178	6
Pastos arbolados	6,93	20,0	346	8
Total	**34,6**	**100**	**1730**	**47**

El muestreo se llevó a cabo teniendo en cuenta la metodología modificada de Gentry (1982), la cual está basada en la implementación de transectos. Esta metodología incluyó tres categorías de tamaño de la vegetación arbórea, incluyendo palmas y helechos arbóreos, así: Fustales (individuos de DAP>10 cm – Diámetro a la Altura del Pecho) para la parcela de 200 m^2, Latizales (individuos de 5 <DAP<10 cm) los cuales fueron medidos en un subcuadrante por parcela de 4 x 4 metros ubicada en uno de los extremos del transecto y los Brinzales (individuos con DAP < 5cm) los cuales se midieron en subcuadrantes por parcela, de 2 x 2 metros. En cada parcela todos los individuos de la clase de fustal fueron numerados y marcados con pintura asfáltica amarilla (Foto 2-1).

Foto 2-1. Registro de toma de datos en campo flora

Todos los individuos fueron identificados hasta la menor clasificación taxonómica posible. Las especies que no pudieron ser determinadas en campo, fueron colectadas

bajo el permiso de colecta aprobado por CORNARE con la Resolución 112-0273-2020 del 30 de enero del 2020. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas para su transporte y posteriormente fueron prensadas usando papel periódico y alcohol al 70%. Cada muestra fue marcada con el código asignado y llevadas al herbario JUAM para su identificación.

Se registraron las medidas de CAP (Circunferencia a la Altura del Pecho), altura total y altura comercial para los individuos de las clases de fustales y latizales, mientras que para los brinzales sólo se registró la altura total. La medición del CAP se realizó teniendo en cuenta las consideraciones de la Figura 2-12.

Finalmente se realizaron los cálculos y análisis necesarios para caracterizar cada una de las unidades de cobertura vegetal; en los siguientes apartados se especifican los índices y parámetros utilizados.

2.8.2.3.5 Análisis Estructural

Las características estructurales son aquellas que se basan en los atributos fisionómicos y hacen referencia al ordenamiento espacial de los individuos. Este está compuesto de dos componentes: la estructura vertical y la horizontal, refiriéndose la primera a la organización de los individuos en estratos, y la segunda a la cobertura y disposición de las especies. Los análisis correspondientes a este capítulo se llevaron a cabo con el software R-studio, versión 1.2.5033 (R Core Team, 2019).

2.8.2.3.5.1 Estructura Horizontal

La estructura horizontal hace referencia al comportamiento de los árboles individuales o de las especies en un área. Para el análisis de este componente se empleó el análisis de la distribución diamétrica de los individuos muestreados en las parcelas. Por otro lado se evaluaron índices que expresan la ocurrencia de las especies y su importancia ecológica, como son abundancia, frecuencia, dominancia y el índice de valor de importancia.

La estructura horizontal de las áreas naturales es el resultado de la dinámica de las plantas ante los limitantes ambientales y las interacciones bióticas, las cuales están dadas por las características del suelo, el clima, la presencia de disturbios, así como las estrategias y rasgos funcionales de las especies (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Extensión, 2000). La estructura horizontal de una comunidad, se puede describir mediante el histograma de frecuencias con los diámetros de los individuos. Para esto se evaluó las distribuciones diamétricas de los individuos medidos en las parcelas, discriminado por coberturas.

De la misma manera, la estructura horizontal puede ser evaluada a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies y su importancia ecológica dentro del ecosistema; siendo ejemplos de estos las abundancias, frecuencias y dominancias, donde la suma relativa de los tres últimos genera el Índice de Valor de Importancia (IVI).

- **Abundancia Relativa**

La abundancia relativa da indicios de las relaciones inter e intraespecíficas en los bosques, ya que reflejan la participación de cada una de las especies en un área determinada, las cuales estas influenciadas por las interacciones entre las comunidades y la disponibilidad de recursos (Acosta et al., 2006). Ésta es calculada con la cantidad de árboles existentes de cada una de las especies (A_{abs}) en un área determinada, con relación al número total de individuos de todas las especies encontradas ($A_{abs\ total}$). De acuerdo a la abundancia se puede decir que una especie tiene densidades normales, excesivas o defectivas.

$$AR = (A_{abs} / \sum A_{abs}\, total) \times 100\%$$

- **Frecuencia Relativa**

La frecuencia refleja la distribución espacial de determinada especie y está dada por la cantidad de unidades de muestreo en las cuales se presenta cada especie, dando indicios de los patrones de atracción y segregación existentes en las comunidades.

$$FR = \left(F_{abs} / \sum F_{abs} total\right) \times 100\%$$

Donde: F_{abs} es el número de parcelas en las que hay presencia de una especie i $F_{abstotal}$ la sumatoria de las frecuencias de todas las especies.

- **Dominancia Relativa**

Este indicador es la combinación de la expresión combinada del área basal y el número de individuos existentes en un área determinada, la cual da idea de la productividad y de la ocupación horizontal de cada una de las especies, siendo las especies con mayor dominancia las que están mejor adaptadas al área de estudio (Acosta et al., 2006). La dominancia es la sumatoria de las áreas basales de todos los individuos de una especie hallada en las unidades de muestreo D_{abs}. La dominancia relativa (Dr) es la participación porcentual de cada especie, con respecto a la sumatoria de la ocupación de todas las especies $D_{abs\ total}$.

$$DR = \left(D_{abs} \times \sum D_{abs} total\right) \times 100\%$$

El área basal (g) se refiere a la ocupación de las especies dentro del bosque, tomando las proyecciones horizontales de los árboles sobre el suelo. Se estima como el área de sección transversal de un árbol a 1,3 metros de altura, medidos desde la base, empleando los valores de DAP mediante la siguiente expresión:

$$G(m^2) = \pi \frac{DAP^2}{40.000}$$

- **Índice de valor de importancia (IVI)**

El Índice de Valor de Importancia permite comparar la importancia de las especies vegetales dentro de la comunidad, considerando variables de abundancia, frecuencia y dominancia y, así mismo, permite estimar la importancia ecológica de las especies vegetales y comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque.

$$IVI = Ar + Fr + Dr$$

2.8.2.3.5.2 Estructura Vertical

La estructura vertical responde a las características de las especies que componen el bosque y a las condiciones micro ambientales presentes en las diferentes alturas del perfil. Las diferencias en el microambiente permiten que especies con distintos requerimientos de energía, se ubiquen en los niveles que mejor satisfagan sus necesidades.

La estructura vertical se analizó a partir de las alturas medidas en campo, con el fin de determinar alguna estratificación en el bosque, además se utilizó el parámetro de posición sociológica y la información de la regeneración medida en las parcelas.

- **Posición sociológica**

La posición sociológica es una expresión de la expansión vertical de las especies, el cual indica la composición florística de cada uno de los sub-estratos (inferior, medio superior) de la vegetación a evaluar (Hosokawa, 1986). Las especies que poseen una posición sociológica regular son aquellas que presentan en el piso inferior un número de individuos mayor o igual a la de los pisos subsiguientes. La posición sociológica relativa (PSR) de cada especie se expresa sobre la sumatoria total:

$$PSR = \frac{PSa}{\sum_{i=1}^{n} PSai}; \qquad PSa = VF(i) * n(i) + VF(m) * n(m) + VF(s) * n(s);$$

$$VF = n/N$$

Donde:

- VF es el valor Fitosociológico del sub-estrato
- n es el número de individuos en el subestrato
- N el número total de individuos
- PSa es la posición sociológica absoluta
- n (i) n (m) y n(s) son los números de individuos de cada especie en el estrato inferior, medio y superior respectivamente.

Regeneración natural

Otro factor que determina la estructura vertical de un área natural está dado por la regeneración natural que da idea de la estructura y la dinámica de las plántulas presentes en el sotobosque, para esto se tuvo en cuanta la clasificación de Hosokawa (1986) la cual clasifica las plántulas en tres grupos i) 0,1<HT<0,99 m, ii) 1<HT<1,9 m y iii) 2<HT<4,9 m. Para determinar la importancia de la estructura vertical de la regeneración (RNR) se calculó por medio de:

$$RNR = \frac{CTa}{\sum_{i=1}^{n} CTai}; \qquad CTa = VFrn(i) * n(i) + VFrn(m) * n(m) + VFrn(s) * n(s);$$

$$VFrn = n/N$$

Donde:

- VF es el valor fitosociológico de la categoría de tamaño
- n es el número de individuos de la categoría de tamaño de Regeneración Natural
- N el número total de individuos de la regeneración natural
- CTa es la Categoría de Tamaño absoluta de la Regeneración Natural
- n (i) n (m) y n(s) son los números de la categoría de tamaño de Regeneración Natural inferior, medio y superior respectivamente.

2.8.2.3.6 Medidas de Diversidad

Los índices de diversidad son las herramientas más utilizadas para analizar, describir y comparar la vegetación presente en un lugar determinado. Para analizar los datos tomados en campo, se seleccionaron los índices más apropiados, aquellos que puedan ser cuantificables, comparables, representativos y predecibles. Por lo tanto, solo se tomarán en cuenta los índices de diversidad alfa de especies, los cuales se enfatizan en la riqueza de especies de una comunidad determinada. La estimación de los índices de diversidad se realizó con la información colectada en las parcelas, teniendo en cuenta las coberturas, estos cálculos se realizaron con el softwares R, versión 3.6.2 y la función “diversity” del paquete “vegan” versión 2.5-6.

2.8.2.3.6.1 Curva de acumulación

Las curvas de acumulación especie representan el número de especies acumulada por esfuerzo de muestreo, la cual es empleada para comprobar si los resultados obtenidos de riqueza son fiables y de esta forma obtener resultados fiables en los análisis posteriores. Para la estimación de la curva de acumulación se empleó la función “specaccum” del paquete “vegan” del software R.

2.8.2.3.6.2 Índices de Diversidad

- **Indice de Simpson (I_{sp})**

Este índice mide la dominancia de las especies en el área muestreada, es decir la probabilidad que dos individuos muestreados al azar pertenezcan a la misma especie (Simpson, 1949).

$$I_{sp} = \sum \frac{\left(n_i(n_i - 1)\right)}{\left(N(N-1)\right)}$$

Donde: *ni* = es el número de individuos de la i-ésima especie

Para su interpretación se asume que, valores cercanos a cero indican una baja diversidad en el bosque, mientras que el valor máximo, es decir el equivalente a 1-1/S, indicaría la más alta diversidad.

- **Índice de Shannon Wiener (H')**

El índice mide la heterogeneidad de la comunidad, donde un valor máximo señalará una situación donde todas las especies son igualmente abundantes. Se calcula de la siguiente forma:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i; \qquad p_i = {}^{n_i}/_{N}$$

Donde: *S* es el número total de especies
pi es la proporción de individuos encontrada en la i-ésima especie
ni es el número de individuos de la i-ésima especie
N es el número total de individuos en la muestra.

Este índice varía entre 0.5 a 5, donde los valores por debajo de dos son áreas con baja diversidad y por encima de 3 con alta diversidad (Shannon & Wiener, 1963).

2.8.2.3.6.3 Índices de Equidad

- **Equidad de Pielou (E)**

Este índice representa si las especies se distribuyen equitativamente en el área muestreada, por lo que valores cercanos a 1 representan condiciones hacia especies igualmente abundantes y aquellos cercanos a 0 la dominancia de una sola especie (Pielou, 1976).

$$E = H/\ln(S)$$

Donde: H es el Índice de Shannon-Wiener
S es el Número total de especies.

2.8.2.3.6.4 Índice de riqueza de especies

- **Índice de Margalef (D_{mg})**

Este índice permite evaluar la diversidad de especies en un ecosistema, se utiliza la siguiente expresión:

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde: S es el número de especies presentes
N el número de individuos encontrados.

Cuando el índice de Margalef está por debajo de dos representa a áreas con baja diversidad y mayor intervención, mientras que los valores superiores a cinco hacen referencia a áreas altamente diversas.

2.8.2.3.6.5 Índices de similaridad entre coberturas

- **Cociente de mezcla (CM)**

Muestra la relación entre el número de especies y el número de individuos totales en el ecosistema, dando una idea del grado de heterogeneidad del bosque. Este índice proporciona una idea de la intensidad de mezcla, así como una primera aproximación a la heterogeneidad de las coberturas evaluadas.

$$CM = {}^{S}/_{N}$$

Donde: *S* es el número de especies presentes en las unidades de muestreo
N es el número total de individuos de todas las especies presentes en las unidades de muestreo.

2.8.2.4 Caracterización de especies de flora en veda nacional

La caracterización de las especies de flora en veda nacional, se realizó con base a la "METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES DE FLORA EN VEDA", elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible en la circular 8201-02-808 del 09 de diciembre de 2019. Esta metodología sigue los lineamientos estipulados en el decreto 2106 del 22 de noviembre de 2019 del Departamento de la función pública de la república de Colombia. Estos lineamientos técnicos contienen además las respectivas medidas de manejo y compensación ambiental para estos grupos biológicos, las cuales están orientadas a contribuir a la conservación de estas especies. A continuación, se describen las metodologías empleadas para la caracterización para cada grupo biológico.

A continuación, se presenta la caracterización de los grupos biológicos Bromelias, Orquídeas, Briófitos (Musgos, hepáticas, anthocerales) y líquenes, éstas especies presentan la condición de veda nacional de acuerdo a la resolución 0213 (INDERENA, 1977).

2.8.2.4.1 Fase de pre-campo

Se consultaron fuentes secundarias para verificar la posible presencia de poblaciones de orquídeas y bromelias en el área de influencia del proyecto. Adicionalmente, se revisó la normativa nacional orientada a la protección de este grupo de plantas y se diseñó un muestreo de caracterización buscando obtener una adecuada representatividad de su riqueza y abundancia.

2.8.2.4.1.1 Consultas de información secundaria.

De acuerdo a la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2018b) se verificó la presencia de los grupos biológicos de Bromelias, Orquídeas, Briófitos (musgos, hepáticas) y líquenes en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Nudos en las siguientes fuentes bibliográficas, además se consultaron en estas fuentes la presencia de especies amenazadas, y endémicas:

- Catálogo de plantas vasculares del departamento de Antioquia (Ortiz & Piedrahita, 2020): sirvió para caracterizar la riqueza de especies de bromelias y orquídeas en las zonas de vida y la región biogeográfica del área del proyecto, además se verificaron los endemismos de este grupo de especies en estas áreas.

- Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal et al., 2020): sirvió para caracterizar la riqueza de especies de bromelias, orquídeas y líquenes en las zonas de vida y la región biogeográfica del área del proyecto, además se verificaron endemismos en estas áreas.

- Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 3: Las Bromelias, las labiadas y las pasifloras (García & Galeano, 2006): se verificó las especies de bromelias que se encuentran en alguna categoría de amenaza

- Libro rojo de briófitas de Colombia (Linares & Uribe-Meléndez, 2002) Se verificó las especies de briofitas que se encuentran en alguna categoría de amenaza

- Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 6: orquídeas primera parte (Calderón-Sáenz, 2006): se verificó las especies de orquídeas que se encuentran en alguna categoría de amenaza

- SIB Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2020). Versión en línea: sirvió para caracterizar en el área de influencia del proyecto la riqueza de especies de Bromelias, Orquídeas, Briófitos (Musgos, hepáticas, anthocerales) y líquenes

- Resolución 1912 de 2017 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2017): Se verificaron las especies amenazadas en el área del proyecto de los grupos biológicos Bromelias, Orquídeas, Briófitos (Musgos, hepáticas, anthocerales) y líquenes.

2.8.2.4.1.2 Determinación de la intensidad de muestreo:

La determinación de la intensidad del muestreo se realizó con base en el protocolo para el Análisis Rápido y Representativo de la Diversidad de Epífitas (REDD-Analysis); propuesto por Gradstein et al. (2003) y se modificó a partir de las características propias de cada una de las coberturas de la tierra y de las condiciones del proyecto.

Dicha adaptación, se plantea a partir de la cantidad de unidades de muestreo para alcanzar la representatividad de riqueza y abundancia de estas comunidades analizadas en una fase de premuestreo en cada cobertura del área de influencia del proyecto.

2.8.2.4.2 Fase de Campo y métodos de muestreo.

A continuación, se describen los métodos y protocolos empleados para los muestreos de campo:

2.8.2.4.2.1 Orquídeas y bromelias de hábito epífito

La caracterización de orquídeas y bromelias de hábito epífito consistió en el muestreo de árboles hospederos o forófitos, en las diferentes coberturas vegetales del área de influencia del proyecto. Para su selección se usaron las recomendaciones de Gradstein et al. (2003) quienes sugieren el muestreo de individuos maduros, separados entre ellos, que pertenezcan a diferentes géneros o familias botánicas y que presenten una corteza no exfoliable y rugosa.

Los forófitos fueron estratificados de acuerdo con la zonificación propuesta por (Johansson, 1974) y modificada por (Steege & Cormelissen, 1989). Estas zonas corresponden a: zona a) tronco húmedo, b) tronco seco y c) las ramas y follaje (Ver Figura 2-13).

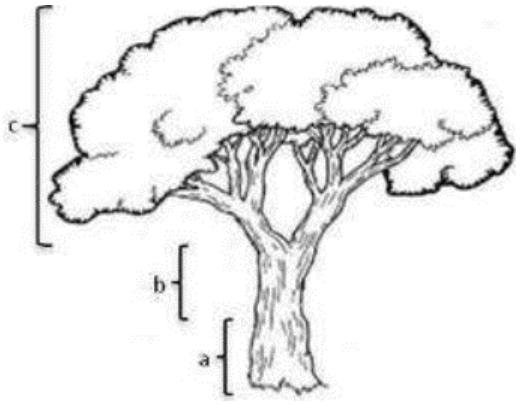


Figura 2-13. Zonificación del Forófito para epifitas vasculares y no vasculares

Fuente: Modificado de Johansson, 1974

Los forófitos muestreados fueron identificados, georeferenciados y marcados en el terreno, a continuación, se registraron y cuantificaron las orquídeas y bromelias en cada uno de los 3 estratos del forófito. Con la ayuda de binoculares se diferenciaron las morfoespecies y se anotaron datos fenológicos, en algunos casos se colectaron y herborizaron muestras botánicas que sirvieron para hacer la homologación de especies (Ver Foto 2-2).

Foto 2-2. Registro de epífitas vasculares

2.8.2.4.2.2 Orquídeas y bromelias terrestres

Para caracterizar las poblaciones de orquídeas y bromelias terrestres, se realizó un muestreo al azar y estratificado por coberturas, con parcelas de metro cuadrado ($1m^2$) dentro de las cuales se realzó un conteo al 100% de los individuos vasculares dentro del cuadrante (Ver Foto 2-3).

Foto 2-3 Muestreo de Orquídeas y bromelias terrestres

2.8.2.4.2.3 Briófitos (musgos, hepáticas, antocerotes) y Líquenes de hábito epífito

Los grupos de briofitos y líquenes de hábito epífito se muestrearon en las zonas 1 y 2 del forófito, en este caso se utilizó una cuadrícula de 600cm^2, la cual se sobrepuso al fuste del árbol, visualmente se estimó el porcentaje de cobertura de las morfoespecies al interior de las cuadrículas, en cada estrato se establecieron dos (2) cuadrículas, una al lado opuesto de la otra, los porcentajes estimados en cada estrato fueron totalizados. Las morfoespecies diferenciadas fueron colectadas y herborizadas para su posterior identificación en el herbario o por un especialista (Ver Foto 2-4).

Foto 2-4 Muestreo de epifitas no vasculares de hábito epífito

2.8.2.4.2.4 Briófitos (musgos, hepáticas, antocerotes) y Líquenes en otros sustratos (suelo, roca y madera en descomposición).

Para caracterizar las comunidades de briófitos y líquenes en otros sustratos (suelo, roca y madera en descomposición), se emplearon las parcelas dentro de las cuales se realizó el conteo al 100% de orquídeas y bromelias terrestres. Al interior de éstas se estimó el porcentaje de cobertura de las morfoespecies de briófitos (musgos, hepáticas, antocerotes) y líquenes con relación al área total de la parcela (Ver Foto 2-5). Las morfoespecies diferenciadas fueron colectadas y herborizadas para su posterior identificación en el herbario.

Foto 2-5 Muestreo de epifitas no vasculares en otros sustratos

2.8.2.4.3 Análisis de la información

La información de los muestreos de campo fue procesada de la siguiente manera:

2.8.2.4.3.1 Manejo e identificación de especímenes

Los especímenes fueron colectados bajo el permiso de Estudio Para La Recolección De Especímenes De Especies Silvestres De La Diversidad Biológica Con Fines De Elaboración De Estudios Ambientales, autorizado en la resolución 112-0273-2020 del 30 de Enero del 2020.

Las muestras botánicas herborizadas fueron movilizadas y determinadas en herbario de la Universidad de Antioquia (HUA). La identificación de los diferentes grupos biológicos fue hecha y certificada por especialistas, para lo cual emplearon los métodos de comparación con las colecciones de referencia del herbario y la revisión de bibliografía especializada.

2.8.2.4.3.2 Composición, diversidad y estructura de las comunidades

La información de campo fue consolidada en bases de datos tanto de los forófitos, como de las especies de epífitas vasculares y no vasculares. Posteriormente se elaboraron los listados de composición de especies y se describió la estructura de cada uno de los grupos caracterizados. Por último, se consolido la información de los puntos de muestreo georreferenciados para cada uno de los grupos caracterizados.

Con la información consolidada se definió la riqueza, diversidad, distribución y estructura de las comunidades encontradas, además se estimó la representatividad de los muestreos realizados. Las especies amenazadas se verificaron en la

Resolución 1912 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2017) y las endémicas para la región biogeográfica se consultaron en el Catálogo de plantas vasculares del departamento de Antioquia (Ortiz & Piedrahita, 2020).

Para cada una de las coberturas vegetales caracterizadas se desarrolló un análisis de diversidad a partir de la estimación de índices de riqueza de especies, de dominancia y de equidad. Se empleó el índice de Shannon (H'), el cual mide la heterogeneidad de la comunidad, y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5, los valores cercanos a 5 indican que la unidad presenta una diversidad vegetal alta. Se calcula a través de la expresión:

$$H' = -\sum \text{pi Ln(pi)}$$

Dónde H´ es la Diversidad de Shannon, pi = (ni /N) es la abundancia proporcional (relativa) y S el elnúmero total de especies en el muestreo

Como medida de dominancia se estimó el índice de Simpson, el cual se refiere a la probabilidad de que dos individuos de una comunidad infinitamente grande, tomados al azar, pertenezcan a la misma especie. A medida que D incrementa, la diversidad decrece. Por ello el índice se expresa usualmente como 1/D o 1-D, lo que asegura que el valor del índice se incremente con el aumento de la diversidad. El rango de este índice está entre 0 y 1 Para comunidades finitas el índice se calcula mediante la expresión:

$$I_{sp} = \sum \frac{(n_i(n_i - 1))}{(N(N-1))}$$

Donde ni es el número de individuos de la i-ésima especie y N es el número total de individuos.

2.8.2.4.3.3 Cantidad de especies esperadas del muestreo (Representatividad).

La completitud del muestreo se verificó de varias maneras: *i*) Con la construcción de una curva de acumulación de especies que combina el registro del número de especies epífitas contra el número de árboles muestreados; *ii*) Con la confrontación de los resultados al alcanzar al menos el 80% de la representatividad de las especies esperas mediante estimadores de riqueza.

Los estimadores se calcularon mediante el uso del software de uso libre EstimateS versión 9.1.0 (*Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*), en el cual se establece una aleatorización de 100 veces para su estimación. A partir de los estimadores de riqueza se construyeron las curvas de acumulación de especies. Se emplearon los siguientes estimadores de riqueza citados por Villarreal et al. (2004):

- CHAO 1, ACE y Bootstrap: para datos cuantitativos, como es el caso epífitas vasculares y bromelias y orquídeas terrestres.

- CHAO 2, ICE y Bootstrap: para datos de cobertura, como es el caso de las epífitas no vasculares y los briófitos y líquenes en otros sustratos.

2.8.2.4.4 Vegetación Riparia

Para la construcción del Índice de Integridad Biótica de la Vegetación Riparia (IIB_{VegRip}) se evaluaron atributos ecofisiológicos de las comunidades de plantas vasculares que crecen asociadas a las riberas del cauce del río. El índice se estimó en tres puntos a lo largo del tramo que define la intervención en el río Cocorná: Un primer punto se definió aguas arriba de la intervención del río (obras de captación), el segundo punto en el tramo medio del río (zona de caudal reducido) y el tercer punto aguas abajo de las obras de generación (casa de máquinas).

Los muestreos de campo se desarrollaron a partir de parcelas permanentes. En cada uno de los tres puntos donde se evaluó la vegetación riparia, se establecieron dos parcelas permanentes de 200m^2 (registradas y georreferenciadas), una en cada margen del río, las parcelas se establecieron de forma perpendicular al cauce para evaluar el gradiente en la riqueza de especies de la vegetación riparia asociada al cauce.

En cada parcela se registraron los árboles fustales (individuos con DAP ≥ 10 cm) y se les midieron/estimaron características como el DAP, altura fustal y altura total. Posteriormente, al interior de cada parcela se delimitó una subparcela de 100 m^2, donde se identificaron los individuos en categoría de latizal (DAP entre 5,0 a 9,9 cm) y les fueron determinadas/estimadas propiedades como DAP y altura total. Finalmente, se tomó una subparcela de 50m^2 donde se hizo el registro de los individuos brinzales (plantas herbáceas, arbustos y regeneración natural de árboles), para esta comunidad se estimó la suma del porcentaje de cobertura de cada especie en la subparcela. Los individuos de las tres categorías registradas en las parcelas fueron identificados en campo. (Ver Foto 2-6)

Con el fin de calcular la biomasa, se escogieron al azar, tres puntos al interior de cada parcela. En cada uno de estos puntos se ubicó una cuadrícula de 1 m x 1 m (subparcelas de 1m^2) y se recogió la hojarasca hallada en su interior. En cada unidad de muestreo se recolectó la hojarasca y detritos (ramas, troncos y otro material vegetal no diferenciado) que se encontraran dentro de la parcela establecida. Las muestras se guardaron en bolsas plásticas, se rotularon con el código de la parcela, posteriormente se llevaron a laboratorio y se secaron para tomar el peso seco el cual representa la biomasa seca de cada punto de muestro en gramos/m^2 (Ver Foto 2-7).

Foto 2-6. Establecimiento de Parcelas de muestreo de vegetación riparia

Foto 2-7. Muestras de biomasa recolectadas

La información de campo fue consolidada en la base de datos parcelas vegetación riparia (Anexo 5.2.11), dónde se muestra la información de los individuos registrados en las parcelas. Con las bases de datos se hizo la clasificación de las especies de acuerdo al grupo funcional al que pertenecen con relación a sus características ecofisiológicas, aquí se siguieron los parámetros definidos del índice de vegetación riparia (EPM, 2012) y se presentan las variables consideradas para la estimación del índice (Tabla 2-43).

Tabla 2-43. Métricas de las plantas vasculares empleadas para la construcción del IIBVegRip

Métrica	Tipo	Descripción
Especies riparias	Estructura de la comunidad	Número de especies riparias (plantas no acuáticas que requieren agua freática para su desarrollo, plantas freatóficas). Aumenta el número en sitios conservados.
Especies acuáticas	Estructura de la comunidad	Número de especies acuáticas (plantas que crecen en el agua o en suelos saturados). Aumenta el número en sitios conservados).

Métrica	Tipo	Descripción
% Especies anuales	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas anuales. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones no perennes.
% Especies exóticas	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas no nativas. Considera además especies nativas introducidas por el hombre en una cobertura determinada. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones foráneos.
% Especies ruderales	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas que colonizan ambientes disturbados. A mayor deterioro, mayor cantidad de estos taxones resistentes a la alteración.
% Especies sensitivas	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de las plantas sensibles al disturbio. Se asume que estas especies sensibles son de distribución restringida y que su cobertura se reduce en ambientes disturbados.
% Especies tolerantes	Estructura de la comunidad	Suma de la cobertura relativa de plantas tolerantes al disturbio. Se asume que estas especies son de amplia distribución y que su cobertura se incrementa en ambientes alterados.
Biomasa	Proceso biológico	Cantidad promedio de gramos de materia orgánica seca por metro cuadrado de área en las parcelas muestreados en la zona riparia. Esta biomasa se incrementa a medida que el sitio es más alterado, pero se reduce en casos de deterioro extremo.

Fuente: EPM, 2012

Para el cálculo del IIB_{VegRip} se usan puntajes para cada variable analizada, los cuales oscilan entre 0,2 y 1 (0,2 para valores que corresponden a sitios donde la variable muestra deterioro y 1 para valores donde la variable muestra sitios de una alta integridad ecológica) (Tabla 2-44). De esta forma, el índice de integridad biótica se obtiene mediante la suma de los puntajes de cada variable, dividida por el número de variables, así:

$$IIB_{VegRip} = (Puntaje\ EP + Puntaje\ EQ + Puntaje\ EA + Puntaje\ EE + Puntaje\ ER + Puntaje\ ES + Puntaje\ ET + Puntaje\ B)/8$$

Tabla 2-44. Puntajes de las variables utilizadas

Métrica	Puntaje 0	Puntaje 0,3	Puntaje 0,7	Puntaje 1
Especies riparias (EP)	0-5	6-15	16-30	> 30
Especies acuáticas (EQ)	0-1	2-3	4-5	> 5
% Especies anuales (EA)	>15%	12-15%	8-11%	< 8%
% Especies exóticas (EE)	>10%	8-10%	5-7%	<5%

Métrica	Puntaje 0	Puntaje 0,3	Puntaje 0,7	Puntaje 1
% Especies ruderales (ER)	>15%	12-15%	8-11%	< 8%
% Especies sensitivas (ES)	<2%	3-10%	11-20%	>20%
% Especies tolerantes (ET)	>60%	40-60%	20-39%	<20%
Biomasa (B)	>801 o <100	451-800	201-450	100-200

Fuente: EPM, 2012

Para hallar el porcentaje de especies ruderales (ER), de especies sensitivas (ES) y de especies tolerantes (ET), se calculó el área basal de cada especie de acuerdo con las categorías de desarrollo en las cuales estas se encuentran. Así, para la categoría fustales y latizales, se calcula el área basal a través del DAP de cada uno de los individuos, y para la categoría brinzales, se utiliza el porcentaje de cobertura de cada individuo, luego este valor se lleva a la proporción de la parcela completa y finalmente se obtiene la suma de coberturas relativas para cada una de las especies.

De acuerdo con el puntaje obtenido con el IIB_{VegRip}, la integridad biótica se podrá clasificar de la manera descrita en la Tabla 2-45.

Tabla 2-45. Interpretación del IIB de la vegetación riparia

Puntaje del $IIB_{Veg\ Rip}$	Interpretación	Implicaciones Ecológicas
0 - 0,3	Baja integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico deficiente o malo para esta comunidad.
0,31 - 0,6	Moderada integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico moderado para esta comunidad.
0,61 - 1	Alta integridad biótica de la vegetación riparia	Estado ecológico bueno o excelente para esta comunidad.

Fuente: EPM, 2012

Finalmente, los resultados del índice se califican mediante la utilización de los ponderadores respectivos, mostrados en la Tabla 2-46.

Tabla 2-46. Calificación del IIB de la vegetación riparia

Aspectos ambientales	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
Índice Biótico de Vegetación Riparia	El índice oscila entre 0 y 1; cero para los sitios donde la variable demuestra	Estado ecológico deficiente o malo para esta comunidad	< 0.01		0
			0,01	0,1	1
			0,11	0,2	2
			0,21	0,3	3
			0,31	0,4	4

Aspectos ambientales	Metodología	Descriptor	Rango		Ponderador
	deterioro y uno para sitio sin alteración	Estado ecológico moderado para esta comunidad	0,41	0,5	5
			0,51	0,6	6
		Estado ecológico bueno o excelente para esta comunidad	0,61	0,7	7
			0,71	0,8	8
			0,81	0,9	9
			> 0,9		10

Fuente: EPM, 2012

2.8.2.5 Fauna Terrestre

2.8.2.5.1 Herpetofauna

2.8.2.5.1.1 Métodos de campo

Para la caracterización del componente de herpetofauna (anfibios y reptiles) presente en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III, se realizaron recorridos libres por unidad de tiempo durante ocho noches consecutivas (entre el 13 y el 20 de febrero de 2020), en dos intervalos de tiempo, el primero en las horas de la mañana (8:00 a 12:00 horas) y el segundo en las horas de la tarde-noche (17:00 a 21:00 horas). Cada recorrido se realizó de forma unidireccional para evitar reconteo de individuos y sobreestimación poblacional. De acuerdo con las coberturas vegetales definidas en la clasificación de Corine Land Cover (IDEAM, 2010a) se realizaron tres días de búsqueda en las coberturas de Bosques (B) y en Vegetación secundaria o en transición (Vst) y dos días en la cobertura de Territorios agrícolas (TA). Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de ocho horas/día/hombre para un acumulado de 24 horas/coberturas para B, así como para Vst y 16 horas/cobertura para TA. Para el área de influencia fue un esfuerzo total de 64 horas/hombre (Tabla 2-47).

En cada transecto se implementó el método de Registro por Encuentros Visuales (Heyer et al., 1994); (Angulo A., JV. Rueda-Almonacid, 2006), el cual consiste en realizar una búsqueda activa y estandarizada de anfibios y reptiles en los diversos microhábitats presentes en el área (e.j rocas, hojarasca, troncos caídos, arroyos, lagunas, entre otros; Foto 2-8). Al mismo tiempo, se implementó el método de Registro por Encuentros Acústicos (conocido comúnmente como Transectos de banda auditiva) el cual se basa en la detección de especies de Anuros (ranas y sapos) por medio de las vocalizaciones emitidas por machos adultos para atraer a las hembras durante la época reproductiva (Angulo A., JV. Rueda-Almonacid, 2006). Estos métodos son eficientes en el monitoreo de anfibios y reptiles debido a que maximiza el número de ejemplares registrados (avistados y/o escuchados) por unidad de tiempo (Veith, M., Lötters, S., Andreone, F., y Rödel, 2004); (Angulo A., JV. Rueda-Almonacid, 2006).

Muestreo diurno, búsqueda en troncos y raíces y remoción de vegetación**.**

Muestreo nocturno y búsqueda en vegetación arbustiva

Hábitats propicios para muestreos de Herpetofauna

Foto 2-8. Método de búsqueda por encuentros visuales en los diversos hábitats presentes dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Fuente: Praming, 2020.

Los especímenes observados fueron fotografiados e identificados *in-situ* con base en la experiencia del biólogo. Algunas especies no se identificaron a primera instancia, por lo que fueron capturadas e inspeccionadas para fotografiar los caracteres diagnósticos necesarios para su debida identificación (Foto 2-9), apoyada por fichas bibliográficas y listados de especies para la zona, siguiendo la taxonomía más actual propuesta por Frost (2020) para anfibios, y (Uetz, P., Freed, P., Hošek, 2019) para reptiles. Se colectaron aquellas especies con incertidumbres taxonómicas (un individuo por especie), para compáralas con especímenes de referencia. El proceso de colecta y preservación se hizo siguiendo las técnicas propuesto por (Páez, V.P., Bock, B., Estrada, J.J., Ortega, A.M., Daza, J.M., y Gutiérrez, 2002).

Foto 2-9. Observación de caracteres morfológicos para la identificación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles (e.j *Pristimantis viejas*) presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.
Fuente: Praming, 2020.

Tabla 2-47 Puntos de muestreo establecidos para la caracterización de la comunidad de anfibios y reptiles presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		X	Y		
Cocorná	Mazotes	877851	1160175	1110	Bosques
		877781	1160341	1120	
		876206	1160115	1217	
		875944	1160210	1240	
	La Placeta	875480	1160475	1361	Vegetación secundaria
		875627	1160551	1330	
		875633	1160552	1327	
		875286	1160472	1341	
		875305	1160360	1310	
	Mazotes	876304	1160262	1209	
		875737	1160287	1255	
		876272	1160466	1267	
		876221	1160293	1218	Territorios agrícolas
		876482	1160321	1246	
		876916	1160251	1168	
		877020	1160356	1170	

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.1.2 Especies probables de ser detectadas en el área de influencia

Para la búsqueda de información secundaria de anfibios y reptiles registrados en el Oriente antioqueño, específicamente en el municipio de Cocorná y municipios colindantes, se obtuvieron datos provenientes de los inventarios de fauna reportados en el libro "Tesoro Vivo - Fauna silvestre en el Oriente Antioqueño" por Sánchez-Granada, D.P., Múnera-Puerta, W.A., Hinestroza-Blandón, L.M., y Montoya-Arango, (2016) y los registros publicados en el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB), teniendo en cuenta únicamente especímenes con voucher (colectados) para evitar un mayor sesgo en errores de identificación, de esta manera la sobreestimación y subestimación de la riqueza de especies es menor. De manera complementaria, se entablaron conversaciones con los habitantes, en las que se buscó indagar por avistamientos y encuentros casuales con la fauna silvestre de la zona. En medio de las charlas se enseñaron fichas con fotografías o ilustraciones claras de las especies esperadas, para inferir con mayor precisión la identidad taxonómica de las especies (e.j. Suárez, A.M., y Alzate-Basto, 2014; Vásquez, J. D., Toro, F. A., Alzate, E., 2018).

Además, el listado final de las especies fue ajustado teniendo en cuenta un rango altitudinal entre 1000 - 1800 m, hábitat (áreas abiertas, fragmentos de bosques, entre otros) y conocimiento *a priori* del profesional. Finalmente, se revisó la colección de referencia del Museo Herpetológico de la Universidad de Antioquia (MHUA). Para maximizar la calidad y veracidad de esta información se siguió la taxonomía actual para las especies (Frost, 2020); (Uetz, P., Freed, P., Hošek, 2019).

2.8.2.5.1.3 Preservación de Especímenes

Los individuos depositados en una Colección Biológica son evidencia directa de la composición biótica de los ecosistemas y de su transformación a través del tiempo, denotando el importante papel que juegan los inventarios y la taxonomía en el conocimiento de la biodiversidad (Heyer et al., 1994; Vargas-Salinas, F., Muñoz-Avila, J.A. y Morales-Puentes, 2019). Considerando que ciertas especies de anfibios y reptiles poseen una mayor complejidad taxonómica y pueden ser confundidas con facilidad (e.j especies de los géneros *Anadia* y *Atractus*) y a su vez, para algunas especies no se tiene seguridad sobre su distribución en la región, fue necesario colectar algunos individuos que generaron dudas en cuanto a su determinación en campo. Para la colecta, sacrificio, preservación y fijación de especímenes de anfibios y reptiles se realizaron los procedimientos propuestos por (Páez, V.P., Bock, B., Estrada, J.J., Ortega, A.M., Daza, J.M., y Gutiérrez, 2002). Todos los especímenes fueron preservados en liquido (Etanol al 70%), y fueron depositados en el Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia (MHUA).

2.8.2.5.2 Avifauna

2.8.2.5.2.1 Métodos de campo

2.8.2.5.2.1.1 Detecciones visuales y auditivas

El trabajo de campo se realizó entre el 13 y el 20 de febrero de 2020. Una vez identificadas las áreas de interés, se empleó la metodología de puntos fijos de muestreo para la obtención de registros de las especies en los hábitats presentes, donde se realizaron muestreos diurnos desde las 06:00 a las 17:30 horas (Foto 2-10), según lo recomendado por (Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F.Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, 2006). En cada cobertura identificada se establecieron cinco puntos fijos separados por más de 150 m, y se realizaron tres repeticiones por punto a diferentes horas del día para asegurar el registro de la mayor cantidad de especies posible (Tabla 2-48). Cada registro fue anotado en la libreta de campo, en donde se asignó a cada una de las especies datos de: fecha, hora, tipo de registro, número de individuos, sexo y observaciones de comportamiento (*e.g.* solitario o en bandada).

Foto 2-10. Área de estudio y puntos fijos de observaciones
Fuente: Praming, 2020.

Las observaciones fueron hechas con binoculares 8x42 (Nikon Monarch) y se utilizó una grabadora Sony ICD-PX820, para grabar vocalizaciones de aves. Usando los registros auditivos, identificándolos en campo o posteriormente con el uso de bibliotecas de sonidos como http://www.xeno-canto.org/ o guías de cantos como (Álvarez, M., V. Caro, O. Laverde, 2007) fue posible maximizar la detección de especies en las áreas muestreadas (Parker, 1991); (Stiles, F. G. y Roselli, 1998).

Para la identificación de especies, se usó la "Guía de Aves de Colombia" (Hilty & Brown, 1986) y para las aves migratorias, la guía "Field Guide to the birds of North America" (Dickinson, 2002). Para el orden y nomenclatura taxonómica se siguió al "South American Classification Committee [versión 23march2020]" (Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, E. Bonaccorso, S. Claramunt, A. Jaramillo, J. F. Pacheco, M. B. Robbins, F. G. Stiles, D. F. Stotz, 2020). Para los nombres comunes se siguió a (Salaman et al., 2001).

Tabla 2-48. Coordenadas de los puntos fijos de muestreo en cada cobertura analizada en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		X	Y		
Cocorná	Mazotes	878084	1160306	1109	Bosques
		878010	1160267	1108	
		877899	1160246	1113	
		877830	1160288	1119	
		877865	1160183	1111	
	La Placeta	875262	1160407	1323	Vegetación secundaria
		875451	1160503	1360	
		875470	1160549	1382	

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		X	Y		
		875571	1160508	1349	
	Mazotes	876187	1160335	1226	
		875720	1160302	1258	Territorios agrícolas
		876461	1160280	1233	
		876358	1160263	1217	
		876087	1160190	1255	
	La Placeta	875178	1160310	1340	

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.2.1.2 Redes de niebla

Para la captura de aves se usaron tres redes (12 m x 2.6 m; ojo de malla 16 x 16 mm) en cada una de las coberturas identificadas (bosques de galería, vegetación secundaria y territorios agrícolas) (Tabla 2-49), en sitios representativos dentro de cada cobertura, ubicadas principalmente a nivel de suelo, en sitios estratégicos para el paso de las aves (*e.g.* cerca de quebradas, sotobosque denso, filos de montaña, bordes, vegetación fructificada o florecida, etc.) (Ralph, C. John; Geupel, Geoffrey R.; Pyle, Peter; Martin, Thomas E.; DeSante, David F; Milá, 1996); (Bibby, C. J., D. A. Hill, N. D. Burgess, 2000). Debido a las condiciones de alta temperatura de las zonas de muestreo, las redes fueron revisadas cada 20 o 30 minutos. En condiciones extremas de lluvia o sol (redes expuestas) las redes fueron cerradas para evitar la muerte de individuos capturados por excesivo calor o frío por humedad. Las redes se abrieron desde las 6:00 hasta 10:00 horas y entre las 15:30 y las 17:30 horas.

Una vez las aves fueron capturadas, se retiraron cuidadosamente de la red y se transportaron en bolsas de tela hasta una estación, que estuvo ubicada en el área de muestreo a aproximadamente 30 metros de las redes (Foto 2-11). Allí, las aves después de su identificación se fotografiaron y liberaron en la misma área de captura. El uso de esta metodología permite registrar especies difíciles de identificar por medios visuales o auditivos, además de colectar información morfológica y ecológica de las especies y obtener evidencia física (fotografías) (Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F.Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, 2006).

Foto 2-11. Manipulación de un individuo de atrapamoscas pirata (*Legatus leucophaius*) capturado en las redes de niebla.
Fuente: Praming, 2020.

Tabla 2-49. Ubicación geográfica de las redes de niebla usadas en el Área de Influencia del Proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		X	Y		
Cocorná	Mazotes	876092	1160136	1232	Bosques
		876142	1160109	1233	
		876157	1160092	1226	
	La Placeta	875474	1160543	1382	Vegetación secundaria
		875467	1160545	1382	
		875457	1160546	1380	
	Mazotes	876530	1160318	1240	Territorios agrícolas
		876532	1160339	1242	
		876524	1160355	1248	

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.2.2 Especies probables de ser detectadas en el área de influencia

Con el fin de tener una aproximación a la comunidad de aves presente en la región, se revisó la literatura para crear un listado de las aves registradas. Debido a la poca información secundaria rescatada y a la falta de rigurosidad detectada en algunos de los trabajos encontrados, se escogieron dos bases de datos que cumplen con ciertos requisitos como un buen manejo de la taxonomía y una curaduría constante. Las bases de datos son el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB)

y la información provista por la plataforma para registros de aves eBird para el área de Cocorná (The Cornell Lab of Ornitologhy, 2020b).

De igual manera, los listados obtenidos fueron cuidadosamente revisados, contrastándolos con bases de datos como Birds of the World del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell (The Cornell Lab of Ornitologhy, 2020a) y con la guía de campo “Guía ilustrada de la avifauna colombiana” (Ayerbe-Quiñones, 2018)(Ayerbe-Quiñones, 2018), teniendo como filtro la distribución altitudinal de las especies registradas en los listados. Finalmente, con estos dos listados se construyó uno solo general, que se presenta en este documento.

2.8.2.5.3 Mastofauna

2.8.2.5.3.1 Métodos de campo

Para la recolección de información primaria en miras a realizar la caracterización de la mastofauna en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III, se llevó a cabo una visita de campo desde el 13 al 21 de febrero del 2020, durante este lapso se implementaron metodologías estándar para el registro del mayor número de especies posible, las metodologías fueron aplicadas en tres grupos de coberturas vegetales reconocidas en el área de influencia (Bosque de galería, vegetación secundaria o en transición y en territorios agrícolas, esta última incluyo pastos limpios y cultivos confinados). Las metodologías se detallan a continuación:

2.8.2.5.3.1.1 Mamíferos pequeños no voladores

2.8.2.5.3.1.1.1 Trampas Sherman y Tomahawk

Para la captura de mamíferos pequeños no voladores que incluyen roedores y marsupiales los cuales poseen un peso menor de 1kg en su etapa adulta (Barnett & Dutton, 1997) se implementó la instalación de 20 trampas Sherman. El set de trampas se ubicó en tres puntos diferentes dentro del área de influencia biótica, incluyendo diferentes coberturas vegetales (Bosque de galería, vegetación secundaria y cultivos confinados (Territorios agrícolas); Tabla 2-50). Estas estuvieron instaladas entren dos a tres noches consecutivas por cobertura en cada punto de muestreo, totalizando ocho noches efectivas de muestreo para toda el área de influencia. Respecto a mamíferos de tamaño mediano se instalaron dos trampas Tomahawk las cuales fueron ubicadas en los mismos puntos y durante igual número de días que las trampas Sherman (Foto 2-12).

Trampa Sherman

Trampa Tomahawk

Foto 2-12 Trampas Sherman y Tomahawk instaladas para la captura de mamíferos pequeños y medianos.
Fuente: Praming, 2020.

Cada trampa fue dispuesta *ad libitum* ubicándolas en sitios que se consideraron los más probables para la captura de individuos como la base de los árboles, troncos caídos, senderos creados por animales, huecos, entre otros tipos de microhábitats (Barnett & Dutton, 1997), fueron marcadas con cinta reflectiva para evitar extravíos y cebadas con una mezcla de avena en hojuelas, mantequilla de maní y esencia de vainilla para el caso de las trampas Sherman, para el caso de las trampas Tomahawk la sardina fue el cebo empleado. Todas las trampas se revisaron en horas de la mañana (8:00-9:00 horas) para corroborar si se daban capturas y para cambiar cebo viejo. Cuando se daban capturas los individuos eran depositados con cuidado en bolsas de tela y la trampa era lavada para quitar restos de heces, orina y cebo, recebada e instalada en el mismo lugar.

A los individuos capturados se les tomaron medidas morfológicas, características de coloración, así como datos de los sitios de captura. La clasificación taxonómica siguió la propuesta de (Wilson & Reeder, 2005) y (Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, de Mastozoología S C, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, Rodríguez Posada M E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, 2019). Finalmente, fueron fotografiados y liberados en la misma área de captura. El esfuerzo de muestreo se determinó como la sumatoria del número de trampas ubicadas y activadas por noches de muestreo (Trampas/noches) y en total para el área de influencia fue de 176 trampas/noche contabilizando tanto las Sherman como las Tomahawk.

Tabla 2-50 Ubicación de los puntos donde se instalaron trampas Sherman y Tomahawk dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		N	W		
Cocorná	Mazotes	877849	1160285	1119	Bosques
		876459	1160295	1238	Territorios agrícolas
	La Placeta	875605	1160569	1330	Vegetación secundaria

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.3.1.2 Mamíferos medianos y grandes

2.8.2.5.3.1.2.1 Recorridos de observación

Esta metodología es ampliamente utilizada para la observación *in situ* de especies de mediano a mayor tamaño, sin embargo, al ser este un grupo críptico y evasivo la mayoría de los registros tienen lugar gracias al hallazgo de indicios indirectos como huellas, restos óseos, madrigueras, excretas, caminaderos, rastros, marcas en troncos, vocalizaciones. Por lo que se realizaron recorridos libres a lo largo de las diferentes coberturas, estos recorridos se llevaron a cabo durante la jornada diurna cuando se revisaban trampas y en la jornada nocturna luego de terminar las labores de muestreo de mamíferos voladores (Foto 2-13; Tabla 2-51). Los recorridos se hacían a marcha lenta y tratando de guardar silencio. El esfuerzo se determinó como las horas-hombre recorridas. El esfuerzo total fue de 24 horas/hombre.

Recorridos libres en el área de influencia

Heces de nutria (*Lontra longicaudis*) Heces de zorro (*Cerdocyon thous*)
Foto 2-13 Recorridos libres en el área de influencia y algunos indicios encontrados durante estos.
Fuente: Praming, 2020.

Tabla 2-51 Puntos donde se lograron observaciones y/o registros indirectos de especies dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		N	W		
Cocorná	Mazotes	877123	1160331	1165	Bosque de galería
		877849	1160285	1119	
		877691	1160211	1119	
		876924	1160207	1163	
		876007	1160148	1230	
		876158	1160103	1231	
	La Placeta	874542	1160132	1343	
		875490	1160463	1359	Vegetación secundaria
		875605	1160569	1330	
	Mazotes	876509	1160220	1209	
		877015	1160318	1167	Territorios agrícolas
		876459	1160295	1238	

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.3.1.2.2 Entrevistas

Por último, se consideró la información relevante proporcionada por habitantes del área con respecto a los avistamientos y su conocimiento sobre las especies en la zona, teniendo en cuenta que éstos suelen tener encuentros constantes con la fauna local. Para la valoración de esta información se realizaron entrevistas

semiestructuradas, como herramienta importante no sólo para registrar la presencia de una especie en el área de estudio, sino para conocer aspectos sobre las relaciones de la comunidad con la fauna de la región (Suárez-Castro & Ramírez-Chaves, 2015) En mamíferos medianos y grandes este método es muy utilizado para el registro de especies, teniendo en cuenta que la mayoría son de hábitos crípticos y evasivos, lo que dificulta su observación durante inventarios cortos (Sánchez et al., 2004); (Zapata-Ríos et al., 2006) y es recomendado para órdenes como Carnívora (López-González et al., 2011); (Suárez-Castro & Ramírez-Chaves, 2015).

Durante las entrevistas se les pidió a los participantes que describieran las especies presentes en la zona de la forma más minuciosa posible, procurando obtener detalles morfológicos y ecológicos que ayudaran con la determinación taxonómica de la especie, y luego basados en una lista de especies de presencia potencial en la zona, de acuerdo a registros previos, distribución altitudinal y zona de vida, se contrastó la información al enseñarles láminas, fotografías o dibujos de tales especies (Cuartas-Calle & Marín-C, 2014); (Sanchez-Londoño, J. D., Marín-C, D., Botero-Cañola, S., & Solari, 2014); (Suárez-Castro & Ramírez-Chaves, 2015). La información sólo fue tenida en cuenta cuando varios entrevistados coincidían con una especie y si el avistamiento se había realizado con no más de tres años de ocurrencia.

Esta información solo se tuvo en cuenta para la elaboración de la composición de especies y no se incluyó para otro tipo de análisis pues no se tiene una ubicación espacial determinada para cada especie más allá de que se hayan observado dentro del área de influencia.

2.8.2.5.3.1.3 Mamíferos voladores

2.8.2.5.3.1.3.1 Redes de niebla

Para la captura de mamíferos voladores se utilizaron tres redes de niebla de 12 m de largo x 2,6 m de ancho (Foto 2-14), durante dos a tres noches por cobertura vegetal (Tabla 2-52) (tres noches en Bosque de galería (B), tres noches en vegetación secundaria (Vst) y dos noches en territorios agrícolas (TA)), en total para el área de influencia fueron ocho noches efectivas de muestreo. Las redes se abrieron desde el atardecer (17:30 horas) y se mantuvieron abiertas hasta las 21:00 horas aproximadamente, hora en la que la actividad de los murciélagos disminuía. Todas las redes se instalaron a nivel del suelo, en posibles sitios de paso o refugio, cerca de plantas asociadas con su dieta, senderos naturales, atravesando quebradas, en el interior o en el borde de las coberturas boscosas y en zonas abiertas.

Captura de varios individuos en red de niebla

Glossopaga soricina capturada en red de niebla.

Foto 2-14 Redes de niebla utilizadas para la captura de mamíferos voladores.
Fuente: Praming, 2020.

Las redes se revisaron cada 15 ó 30 minutos, según la actividad de los murciélagos. Los especímenes capturados fueron depositados en bolsas de tela y llevados hacia una estación de muestreo donde cada individuo fue extraído y en algunos casos se les tomaron medidas morfométricas (longitud del antebrazo, oreja, pata). Para ayudar a la identificación de las especies se siguieron claves especializadas (Díaz et al., 2016); (López-Baucells et al., 2016). Por último, se fotografiaron y liberaron en la misma área de captura. El esfuerzo fue calculado en número de horas/red en cada cobertura y correspondió a 72 horas/red para toda área de influencia.

Tabla 2-52 Ubicación de los puntos donde se instalaron las redes de niebla dentro del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altura	Cobertura vegetal
		N	W		
Cocorná	Mazotes	877849	1160285	1119	Bosque de galería
		876158	1160103	1232	
	La Placeta	874542	1160132	1343	
		875490	1160463	1359	Vegetación secundaria
		875271	1160394	1320	
	Mazotes	876596	1160362	1239	
		876459	1160295	1238	Territorios agrícolas
		877015	1160318	1168	

Fuente: Praming, 2020.

2.8.2.5.3.2 Especies probables de ser detectadas en el área de influencia

Para determinar las especies de mamíferos potencialmente presentes en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Cocorná III se consultaron fuentes de información secundaria, como los listados de mamíferos para Colombia (Solari et al., 2013); (Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, de Mastozoología S C, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, Rodríguez Posada M E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, 2019) los listados regionales para el departamento de Antioquia (Cuartas-Calle & Muñoz-Arango, 2003), se revisó la información de Estudios de Impacto Ambiental realizados para licenciamiento de otros proyectos en la cuenca del rio Cocorná (Cocorná I, Cocorná II) y por último, se revisaron los registros del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB). Los datos obtenidos fueron filtrados hasta especie, se cotejó que cada registro estuviese en el rango de altura reportado para el proyecto (1000 a 1800 metros), y que este concordará con los registrados en las distribuciones altitudinales al cotejar con la lista de mamíferos para Colombia (Solari et al., 2013) y las publicadas en la (IUCN, 2020). La taxonomía siguió la propuesta en la lista de especies más reciente para el país (Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, de Mastozoología S C, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, Rodríguez Posada M E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, 2019). De igual manera se filtró la información de acuerdo con las características del área influencia en cuanto a su grado de alteración y a las coberturas presentes.

2.8.2.5.3.3 Análisis de datos

2.8.2.5.3.3.1 Composición de especies

Tras la corroboración de la identidad taxonómica de los especímenes observados y capturados en campo, se elaboró el listado de las especies para el caso de los tres grupos de fauna (mastofauna, herpetofauna y avifauna) detectados en cada una de las coberturas muestreadas. Adicionalmente, para cada especie se presenta información sobre su clasificación taxonómica, estado de conservación, rango de distribución, gremio trófico y tipo de registro.

2.8.2.5.3.3.2 Índices de diversidad

La diversidad es una propiedad emergente de la comunidad que se delimita por un grupo focal de especies en una escala espacio-temporal y qué a su vez, depende de la variación de las propiedades de las comunidades (E. j. riqueza, composición, recambio de especies, entre otros). Para evaluar la diversidad, se pueden utilizar índices que resuman la información en un solo valor y permitan realizar comparaciones (Moreno, 2001); (Villareal, H.M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, 2004).

La **diversidad alfa (α)** referida como el número de especies que se encuentran en un lugar específico, tiene en cuenta la riqueza, abundancia y representatividad de las especies (Villareal, H.M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, 2004). Esta riqueza se puede describir haciendo uso de los siguientes índices (Tabla 2-53):

- **Índice de riqueza de Margalef (Dα):** Relaciona el número de especies observadas con el número total de individuos. Valores inferiores a dos, se consideran como zonas de baja biodiversidad.
- **Índice de dominancia de Simpson (D):** Expresa la probabilidad de que cualquiera de dos individuos tomados al azar de una muestra pertenezca a la misma especie, o a especies diferentes (1-D). Este índice ofrece una medida acerca de la dominancia de la comunidad, teniendo en cuenta las especies más comunes. Sus valores se encuentran entre 0 y 1, cuando el valor (1-D) es cercano a uno la dominancia es menor y, por ende, la diversidad mayor.
- **Índice de diversidad de Shannon– Wiener (H'**): Mide la heterogeneidad de la comunidad. Este índice combina la riqueza de especies y la equidad para informar sobre la similaridad de las abundancias relativas de la comunidad. El valor máximo es indicador de una situación en la cual todas las especies son igualmente abundantes. Sus valores se encuentran entre 0 y 5.

Por su parte, la **diversidad beta (β)** referida como el grado de recambio de especies entre dos comunidades, teniendo en cuenta la abundancia y el grado de semejanza en composición de especies (Villareal, H.M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, 2004). Esta diversidad puede ser descrita por medio del siguiente índice (Tabla 2-53):

- **Índice de similitud de Jaccard (IJ):** Relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies únicas. El intervalo de valores para el índice de Jaccard va de 0, cuando no hay especies compartidas entre sitios, hasta 1, cuando la composición de especies es igual entre los sitios.

Tabla 2-53. Índices de diversidad alfa y beta utilizados para la caracterización de las comunidades de fauna terrestre (avifauna, herpetofauna y mastofauna) presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III.

Índices	Ecuación	Variables
Diversidad alfa		
Diversidad de Margalef (Dα)	$I = \frac{(s-1)}{LnN}$	**S:** Número de especies (riqueza) **N:** Número total de individuos en la comunidad

Índices	Ecuación	Variables
Diversidad Shannon – Wiener (H')	$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i$	**S:** Riqueza **pi:** Abundancia relativa de la especie i (proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos)
Dominancia de Simpson (λ)	$\lambda = \sum p_i^2$	**pi:** Abundancia relativa de la especie i
Diversidad beta		
Coeficiente de Similitud de Jaccard (IJ)	$I_j = \frac{c}{a+b-c}$	***a*:** Número de especies presentes en un sitio A ***b:*** Número de especies presentes en un sitio B. ***c:*** Número de especies presentes en ambos sitios A y B

Estos índices fueron calculados por medio del programa Past 3.26®, para todos los grupos de fauna terrestre.

2.8.2.5.3.3.3 Curvas de acumulación de especies

Una curva de acumulación de especies representa gráficamente la forma como las especies van apareciendo en las unidades de muestreo (Villareal, H.M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... y Umaña, 2004). Los análisis de cobertura de muestreo y de completitud permiten corregir sesgos de metodologías tradicionales como las curvas de acumulación o rarefacción de especies que comparan la riqueza de especies entre sitios que no son similares, o que el esfuerzo de muestreo no es el mismo (Rodriguez-Cardozo, N.R., Arriaga-Villegas, N.C., y Díaz-Ricaurte, 2016). Esta metodología sobre la efectividad del muestreo resulta ser muy útil dada la imposibilidad de lograr un inventario total de las especies presentes en una comunidad (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

Para evaluar la representatividad del esfuerzo de muestreo del área de influencia para los tres grupos de fauna terrestre (avifauna, herpetofauna, mastofauna) se construyeron curvas de acumulación de especies y de cobertura del muestreo considerando el número de individuos registrados en cada recorrido como unidad de muestreo. Estos análisis se hicieron con el programa online iNEXT, al estimar el número de especies faltantes en el muestreo extrapolando el número de Hills, por medio del estimador asintótico de la riqueza de especies Chao 1 (Chao et al., 2016).

2.8.2.5.3.3.4 Abundancias relativas

Se calcularon las proporciones (porcentajes) de los individuos de cada especie encontradas en el área de influencia del proyecto y en cada una de las coberturas muestreadas mediante gráficas de rango abundancia y gráficas de barras por medio del programa estadístico Excel 2019. Se detectaron las especies únicas en cada sitio, los hábitats con mayor abundancia y riqueza de especies, para cada grupo de fauna (Herpetofauna, avifauna y mastofauna).

2.8.2.5.3.4 Categoría de amenaza y endemismo

Finalmente, para conocer el estado de conservación de las especies presentes en el área de influencia del proyecto, así como para las especies potenciales, incluyendo los tres grupos (herpetofauna, mastofauna y avifauna), se tuvieron en cuenta las siguientes categorías de amenaza: los criterios de amenazas establecidos por la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2020), los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2019) y la Resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2017). Por último, la determinación de endemismo para mamíferos se realizó de acuerdo con la última lista para Colombia, donde se especifican las especies endémicas para el país (Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, de Mastozoología S C, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, Rodríguez Posada M E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, 2019). En el caso de la herpetofauna el estado de distribución se basó en la consulta de las bases de datos científicas del American Natural History Museum y The ReptilDataBAse, las cuales recopilan información taxonómica y de distribución de las especies de anfibios y reptiles a nivel mundial (Frost, 2020); (Uetz, P., Freed, P., Hošek, 2019). Para aves se revisó la información presentada por (IUCN, 2020).

2.8.2.6 Ecosistemas Acuáticos

El muestreo de los ecosistemas acuáticos se realizó en dos periodos climáticos contrastantes con el fin de analizar los cambios que se presentan en estas comunidades en dos periodos hidrológicos diferentes. El primer muestreo se realizó en noviembre de 2015, en un periodo de aguas altas y el segundo en septiembre de 2018 coincidiendo con la temporada de aguas bajas. Ambos muestreos se realizaron en los mismos días y sitios en que se realizaron los muestreos de calidad de agua con el fin de correlacionar la información recolectada con los parámetros de calidad fisicoquímica y microbiológica.

2.8.2.6.1 Perifiton

Para la obtención de estas muestras, se procedió en primer lugar a identificar, en cada uno de los puntos de muestreo, rocas y troncos con colonización notoria de ficoperifiton, para luego proceder a realizar raspado de la superficie de éstas y desprender las algas adheridas al sustrato.

Las muestras de ficoperifiton se tomaron en 10 sustratos, inmersos en el lecho del río Cocorná (principalmente piedras y vegetación riparia y de remansos), en un trayecto aproximado de 50 m en cada sitio, cepillando la superficie superior de los sustratos.

Se realizó un raspado con un cepillo en un área aproximada de 90 cm^2. Para ello se calculó en cada sustrato un área aproximada de 3 cm^2 y se hizo el raspado tomando repeticiones hasta completar el área de muestreo. Las muestras fueron fijadas con lugól al 10% y transportadas en envases plásticos opacos de 250 ml debidamente rotulados (Foto 2-15).

Colecta de las algas del ficoperifiton

Almacenamiento de la muestra

Foto 2-15. Metodología de muestreo de los organismos ficoperifíticos en el área de influencia de la PCH Cocorna III

Para la determinación del ficoperifiton se utilizó un microscopio invertido Boeco con reglilla ocular. Previo al conteo, las muestras se homogeneizaron por agitación manual, posteriormente, se tomó un (1) ml de muestra y se depositó en una cámara Kolwitz. El conteo e identificación de los organismos se realizó tomando al azar treinta campos de observación, haciendo el conteo con una magnificación total de 400X. Al final del conteo se realizó un barrido por toda la cámara en zig-zag para identificar otros organismos que no hubieran sido observados en el análisis cuantitativo, estos fueron considerados con una abundancia igual a uno.

Se utilizó para la determinación taxonómica de los organismos las claves y guías taxonómicas de Palmer (1963 y 1969), Wetzel (1983), Sant'Anna y Martins (1982), Ramírez (2000) , Estévez y Alvarez (1984), Wohler y Hartmann (1973), Martínez y Donato (2003), Bicudo y Menezes (2006) y Komárek y Fott (1983). Por último, se tomaron fotografías de los organismos con el fin de tener material de apoyo para monitoréos futuros.

Los organismos se analizaron de acuerdo a su abundancia absoluta y su abundancia relativa. Adicionalmente se calcularon diferentes índices ecológicos como diversidad, (Shannon & Weaver, 1949), dominancia (Simpson, 1949), riqueza numérica (como número de géneros) y equidad (Pielou, 1969). Además, se realizó el análisis de

agrupación (análisis de clúster) de acuerdo a la composición de organismos en cada tramo de muestreo.

2.8.2.6.2 Macroinvertebrados

Trabajo de campo. Para la obtención de las muestras de macroinvertebrados acuáticos en cada uno de los tramos evaluados, se seleccionó un transecto de aproximadamente 100 m de longitud, donde se tomaron 10 submuestras con la red triangular o D-net (de 0,5 mm de ojo de malla) en todos los mesohábitats existentes como raíces de plantas en las orillas, con presencia de hojarasca, ramas y troncos. (Foto 2-16), además, se realizaron colectas manuales, que consistieron en levantar rocas, palos y hojas sumergidas para posteriormente capturar los organismos asociados a ellos.

El material recolectado se depositó en bolsas plásticas de cierre hermético debidamente rotuladas (nombre del tramo, municipio, fecha y hora) y se agregó alcohol al 70% para la preservación de los especímenes. Posteriormente fueron transportadas al laboratorio para la determinación de los individuos.

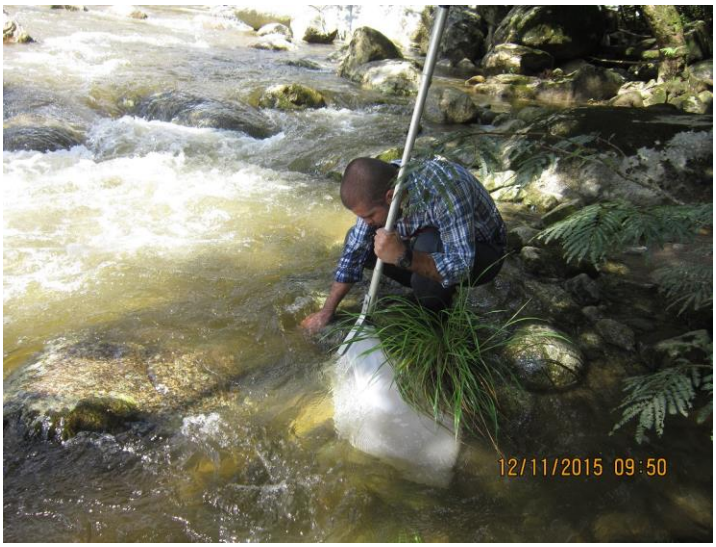


Foto 2-16. Método de recolección de macroinvertebrados en el área de influencia de la PCH Cocorná III

Trabajo de laboratorio. El material biológico colectado en campo se separó de otros materiales acompañantes (orgánico e inorgánico). Este material se almacenó en viales plásticos con alcohol al 70%. Para la determinación de los individuos se utilizaron claves taxonómicas de: Usinger (1956), McCafferty (1981), Roldan (1988), Machado (1989), Stehr (1991), Merritt y Cummins (1996), Aristizábal (2002), (Posada y Roldán (2003), Manzo (2005) y Domínguez y Fernández (2009). Durante el proceso de identificación se cuantificó, por el máximo nivel taxonómico, la abundancia neta y relativa, variables usadas para posteriores análisis.

Análisis de la información: La composición y estructura de los diferentes ensambles se estableció a partir de la abundancia relativa, mientras para estimar los índices ecológicos se trabajó con la abundancia neta. Los índices evaluados fueron: la riqueza numérica (S), la diversidad de Shannon (Shannon & Weaver, 1949), equidad de Pielou (Pielou, 1969) y dominancia de Simpson (Simpson, 1949). Adicionalmente, se realizó un análisis de similitud entre sitios y se determinó con base en un análisis de agrupamiento mediante la aplicación del índice de similaridad de Bray-Curtis. Tanto los índices ecológicos como el índice de similaridad se estimaron en el programa PAST Ver.2.17 (Hammer et al, 2001).

Bioindicadores de la calidad del agua: Para determinar la calidad del agua se aplicó el índice BMWP para Colombia (Roldan, 2003). Esta metodología consiste en que a cada familia de macroinvertebrados acuáticos se le asigna un puntaje de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación. Las familias más sensibles reciben un puntaje de 10 y así gradualmente hasta llegar a un puntaje de 1 para las familias más tolerantes a la contaminación (Tabla 2-54). La suma de todas las familias encontradas en el sitio de muestreo da el valor total del BMWP/Col. De acuerdo con el puntaje obtenido para cada sitio, se calificó la calidad del agua y su significado ecológico (Tabla 2-55).

Tabla 2-54. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldan, 2003)

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dyctiscidae, Ephemeridae, Euthyplocidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrbiosidae, Laptophlebiidae, Leptophlebiidae, Philipotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaleliidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolicopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Tubificidae	1

Tabla 2-55. Calificación de la calidad del agua y su significado para el Índice biótico BMWP/Col (Roldan, 2003).

Puntaje BMWP/Col	Significado	Clase	Calidad	Color
> 150 101-120,	Aguas muy limpias Aguas muy limpias a limpias	I	Buena	Azul
61-100	Aguas moderadamente contaminadas	II	Aceptable	Verde
36-60	Aguas ligeramente contaminadas	III	Dudosa	Amarillo
16-35	Aguas muy contaminadas	IV	Critica	Naranja
<15	Aguas fuertemente contaminadas	V	Muy critica	Rojo

2.8.2.6.3 Peces

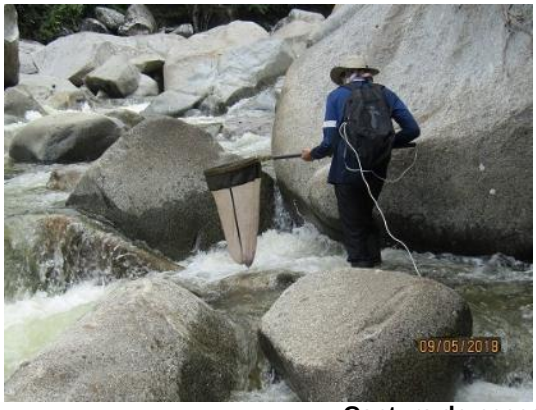
2.8.2.6.3.1 Métodos en Campo

Las muestras fueron tomadas en tres sitios (tramos) del río Cocorná, que hacen parte del área de influencia del proyecto PCH Cocorná III, y están definidos como Captación, Tramo Medio y Descarga.

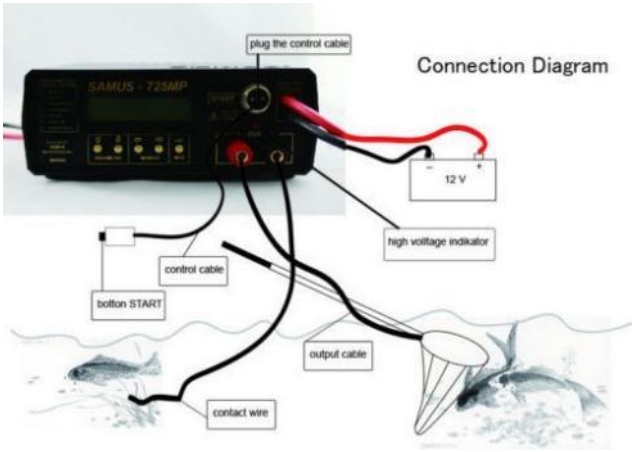
Para el muestreo de la ictiofauna, se emplearon dos atarrayas (1,7 m de largo), una con ojo de malla de 1 cm y otra de 0,5 cm (ver Foto 2-17). El esfuerzo de muestreo consistió en 30 lances por cada tramo de muestreo de 150 metros lineales cada uno. De acuerdo con las condiciones de velocidad y baja profundidad de las orillas del cauce, se utilizó como aparejo de pesca complementario un equipo de pesca eléctrica portátil (Samus 720), conservando un esfuerzo de pesca de 80 minutos, en un recorrido de 150 m por tramo de muestreo. Este último aparejo permite capturar peces que, por las características de su hábitat (torrentoso y bentónico), son de difícil captura con las atarrayas (ver Foto 2-17).

Los individuos capturados fueron depositados en bolsas plásticas con agua de cada tramo y, posteriormente, se trasladaron a un balde con aireador portátil para evitar la muerte de los individuos por déficit de oxígeno, mientras se llevaba a cabo el procesamiento de las muestras: identificación taxonómica (hasta la mayor resolución posible), medidas biométricas de talla (longitud estándar-LE- con la ayuda de un pie de rey ± 1 (mm)), peso total (medido con una balanza digital de ± 0,1 (g)) y registro fotográfico de cada individuo, con una cámara compacta digital (Cannon Power Shot SX420 IS) (ver Foto 2-17). Todos los individuos se identificaron en campo y fueron devueltos al sistema acuático luego de haber tomado sus datos biométricos.

Pesca con atarrayas de ojo de malla 0,5 y 1 cm



Captura de peces con electro pesca



Descripción esquematica del equipo de electropesca
Tomada de : https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451599228-equipo-de-electropesca-samus-725mp-_JM)

Procesamiento de peces capturados (toma de datos biométricos)
Foto 2-17. Aspectos de los métodos de pesca, almacenamiento, toma de datos y liberación de especímenes capturados en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III

2.8.2.6.3.2 Análisis Estadísticos

Riqueza, abundancia, biomasa. Los datos biológicos se organizaron en hojas de cálculo de Excel, a partir de esta base de datos se generaron tablas y gráficas para analizar la composición y estructura de los ensambles de peces (listado de especies, distribución de abundancias, biomasas, distribución espacial de las especies, gremios tróficos).

Diversidad. Para evaluar la diversidad fue utilizado el índice de diversidad de Fisher Alpha, que representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades (o escalas) locales relevantes, y por definición abarca dos variables importantes: (1) la riqueza de especies, y (2) la abundancia relativa de especies. De manera complementaria se utilizó el índice de diversidad de Morisita Horn que según (Whittaker, 1960) se define como el diferencial entre la diversidad de un hábitat y la diversidad total de un paisaje, en general, mide el grado de similitud entre la composición de especies y sus abundancias. Los índices fueron calculados utilizando el programa PAST versión 2.1 ((Hammer, O; et al, 2001).

Correlación entre parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos. Para conocer la estructuración del ensamblaje de las especies de peces en los tramos Captación, Medio y Descarga en dos periodos cronológicos diferentes, fueron realizados análisis multivariados. Inicialmente se verificó mediante un DCA (Diseño Completamente Aleatorio o Azar) la longitud de gradiente. La longitud de gradiente fue de 3,58 y se considera que con este valor se puede efectuar un ACC (Análisis de Correspondencia Canónica) con distancias entre muestras. El ACC fue realizado sobre los datos de abundancia. Para estos análisis fue utilizado el software CANOCO 4,56 sobre la plataforma Windows.

Relación Talla-Peso. La relación de las medidas biométricas de los ejemplares de peces capturados se realiza mediante la ecuación propuesta por (Gulland, 1983):

$$w = a * LE^b;$$

donde w es el peso total del pez (gramos), sin eviscerar
LE es la longitud estándar (mm)
a es la intersección del eje de las ordenadas
b es la pendiente de la curva.

Cuando el coeficiente b es igual a 3, significa que las proporciones con la que el pez crece en tamaño y peso son similares (crecimiento isométrico); el crecimiento alométrico se presenta cuando el valor del coeficiente b se aleja de 3, mayor que tres alometría positiva (aumenta más el peso que la talla - peces adultos), menor que 3 alometría negativa (aumenta más la talla que el peso - peces jóvenes) (Froese, 2006).

2.8.2.6.3.3 Categorías de Amenaza y Endemismo

Para determinar el grado de amenaza de las especies, se consultó material bibliográfico especializado: Red List of Threatened Species International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2018), Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al., 2012), Resolución 1912-2017 (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS) y Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

En general, se utilizan las siguientes categorías de amenaza: En Peligro Crítico (CR): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre. En Peligro (EN): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre. Vulnerable (VU): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre. Casi amenazado (NT): Un taxón está Casi Amenazado cuando ha sido evaluado según los criterios, pero no califica en CR, EN o VU; pero está cerca de calificar o es probable que califique para una categoría amenazada en el futuro próximo. Preocupación menor (LC): cuando el taxón ha sido evaluado según los criterios y no califica en CR, EN, VU o NT. Los taxones de amplia distribución y abundantes están incluidos en esta categoría.

La determinación de los endemismos fue basada en la distribución geográfica de las especies de peces encontradas en los tramos de muestreo. Tal información se encuentra disponible y recientemente actualizada en la base de datos del Catálogo de Peces en Línea de la Universidad de California (Eschmeyer & R, 2018). La designación de una especie como migradora, se fundamentó principalmente en los reportes de (Usma et al., 2009) y (Zapata & Usma, 2013) y artículos científicos sobre los aspectos reproductivos de las especies de interés.

2.8.2.6.3.4 Especies probables de ser detectadas en el Área de Influencia

Para establecer las especies que pueden estar presentes en el área de influencia del proyecto PCH Cocorná III, se usó como información secundaria el trabajo de

Jaramillo-Villa et al., 2010, un trabajo riguroso en que se identifican los peces presentes en la subregión del oriente antioqueño, a partir de tres fuentes de información: bibliotecas regionales, colecciones con registros del área estudiada y colectas puntuales en cuencas sin información previa. Los taxones de peces que podrían estar presentes en el área de estudio se relacionan en la Tabla 2-56.

Tabla 2-56. Especies probables de ser detectadas en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico PCH Cocorná III.

Orden	Familia	Género	Especie
Characiformes	Parodontidae	Parodon	*Parodon suborbitalis* Valenciennes, 1850
		Saccodon	*Saccodon dariensis* (Meek & Hildebrand, 1913)
	Chrenuchidae	Characidium	*Characidium phoxocephalum* Eigenmann, 1912
	Characidae	Astyanax*	
		Hemibrycon*	
	Bryconidae	Brycon	*Brycon henni* Eigenmann, 1913
Siluriformes	Trichomycteridae	Trichomycterus*	
	Astroblepidae	Astroblepus*	
	Loricariidae	Chaetostoma*	
		Lasiancistrus	*Lasiancistrus caucanus* Eigenmann, 1912

Los géneros con asterisco significan que albergan varias especies que pueden estar en el área de estudio.

2.8.3 Caracterización del Medio[1] Socioeconómico

2.8.3.1 Diagnóstico

Los análisis sociales se establecen, como lo determina la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, bajo los principios de

[1] Es la categoría de mayor jerarquía; el ambiente es constituido por los medios abiótico, biótico y socioeconómico (ANLA, 2018, pág. 30)

pertinencia y relevancia[2], precisión[3], oportunidad[4], interpretabilidad[5], coherencia[6], comparabilidad[7], transparencia y confiabilidad[8] (ANLA, 2018, pág. 28).

Se combinan, así, fuentes primarias y secundarias, lo cual permite una lectura territorial que se soporta en estadísticas y sistemas de información que posibilitan contrastar, verificar y espacializar las realidades socioeconómicas. En lo que respecta a las fuentes secundarias, todos los análisis se realizan con base en referencias de fuentes idóneas[9], entre ellas la base de datos del SISBEN 2018, DANE[10], el Plan de

[2] Grado con el que la información es útil para describir y conocer las condiciones ambientales y las características de los proyectos o sus alternativas, identificar y valorar los impactos ambientales y el uso de servicios ecosistémicos, establecer zonas homogéneas y definir planes y programas de manejo ambiental (ANLA, 2018, pág. 28).

[3] Grado con el que la información estima o describe de forma correcta las cantidades, características o fenómenos objeto de medición (ANLA, 2018, pág. 28).

[4] Período de tiempo que transcurre entre la ocurrencia del fenómeno y el momento en el que está disponible la información (ANLA, 2018, pág. 28).

[5] Facilidad con la que se puede entender, utilizar y analizar los contenidos del estudio ambiental. Los cuadros, tablas, gráficos, figuras, ilustraciones, esquemas, mapas y demás medios para representar la información que éstos contengan, deben tener colores, tamaños de textos y distribución de elementos que permitan su lectura y fácil comprensión (ANLA, 2018, pág. 28).

[6] Referida a la inexistencia de contradicciones entre conceptos, métodos y la información que se genera con los mismos (ANLA, 2018, pág. 28).

[7] Señala, de acuerdo a los conceptos aplicados y al uso de clasificaciones, nomenclaturas y métodos estandarizados, qué tan proclive a la comparación resulta la información que se utiliza o se genera, en términos espaciales y temporales (ANLA, 2018, pág. 28).

[8] Refleja el grado con el que es posible conocer la forma en que fue generada la información y por tanto, si es posible fiarse de la misma. Los metadatos y otros tipos de documentación, constituyen un referente para valorar este atributo (ANLA, 2018, pág. 28).

[9] Fuentes oficiales o fuentes técnicas de alto nivel como revistas científicas, publicaciones académicas de centros o institutos de investigación y otras fuentes que hayan tenido un proceso idóneo de gestión.

[10] Esta es la fuente central de información del componente demográfico pues expone estadísticas vitales (nacimientos y defunciones), tasas de crecimiento poblacional,

Desarrollo Municipal, el EOT, sistemas de información de la Gobernación de Antioquia, estadísticas e indicadores del ministerio de cultura y Banco de la República, plan de desarrollo departamental (PDD). Así mismo, se utilizan algunos indicadores del Departamento Nacional de Planeación (DNP) que coadyuvan a los análisis sobre la pertenencia étnica, GINI, pobreza multidimensional y estructura de la propiedad rural.

A su vez, se toman referencias del Ministerio de Agricultura, Ministerio del Interior, Agendas de competitividad del DNP, SIGOT, IGAC, UAEGRTD, ANSPE-DPS, SIAC, ICANH, ADR, ANT, Ministerio de Cultura, Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño y Observatorios de paz regionales (ANLA, 2018, pág. 39).

En aras de la transparencia de los análisis socioeconómicos y culturales del área de influencia del proyecto se presentan a continuación las metodologías que se utilizan para su elaboración:

2.8.3.1.1 Información Acreditada

La comunicación con la institucionalidad, la cooperación, el intercambio de información y la generación de confianza institucional, son de vital importancia para la correcta realización de los procesos ambientales, en el marco de un trámite de licenciamiento. Que las instituciones conozcan el proceso, se encuentren al tanto de sus avances y se vinculen mediante la facilitación de información, garantiza que los estudios y caracterizaciones apunten a la realidad social, económica y demográfica del área de influencia y, por tanto, se basen en información de calidad.

Con base en las premisas de construcción de confianza, comunicación y cooperación; se realiza la gestión de información de confiabilidad generada por las instituciones del municipio, que resultan indispensables para la caracterización socioeconómica y cultural del territorio.

Así, el día 27 de octubre 2018 el equipo social realiza visitas institucionales en el municipio de Cocorná para gestionar información necesaria para la caracterización del municipio. Mediante este trabajo se visita a cada una de las instancias institucionales y se les solicita por escrito los datos que permitan interpretar las condiciones socioeconómicas y culturales del Municipio. Se solicitó información oficial sobre las siguientes dependencias:

distribución de población por sexo, edad y género, entre otros indicadores vitales a la hora de entender la dinámica poblacional.

2.8.3.1.1.1 Datos Solicitados a Oficina de SISBEN[11]

Demográfico

- Población sisbenizada total del municipio, urbano y rural.
- Población por cada una de las veredas y centros poblados del municipio
- Estructura etaria de la población por edad y sexo (pirámides poblacionales)

Salud y Discapacidad

- Condiciones de discapacidad de manera permanente, por vereda
- Tipo de afiliación al sistema general de seguridad social, por vereda

Vivienda

- Tipo de unidad de vivienda por vereda
- Material predominante de las paredes exteriores de la vivienda, por vereda
- Material predominante de los pisos de las unidades de vivienda, por vereda
- Unidad de vivienda que cuenta con servicios públicos, por vereda
- Estrato por vereda
- Cómo eliminan principalmente las basuras en esta unidad de vivienda, por vereda
- Cuántos grupos de personas que cocinan por separado hay en esta unidad de vivienda, por vereda y vivienda
- Tenencia de la vivienda, por vereda

Saneamiento básico y servicios públicos

- Tipo de servicio sanitario por vivienda y vereda
- Conexión a Servicios públicos (electricidad, acueducto, alcantarillado, comunicaciones) por vivienda y vereda
- Regularidad de prestación de servicios públicos~~: el agua llega 24 horas al día los 7 días de la semana,~~ por vereda
- Fuentes de abastecimiento de agua
- Alcantarillado (pozos sépticos, letrinas, a cielo abierto, otro, ¿cuál?)
- Sistema de recolección de los residuos sólidos (cobertura y calidad)

Combustibles

- Combustible o fuente de energía que utilizan principalmente para cocinar, por vereda
- Qué tipo de energía utilizan para iluminación, por vereda

[11] La petición de esta información se encuentra relacionada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Educación

- Tipo de establecimiento educativo al que asiste la población sisbenizada, por vereda
- Último año de escolaridad alcanzado, por vereda
- Nivel educativo alcanzado

Trabajo

- Población en edad de trabajar (mayores de 14 años para la zona rural y de 18 años para la zona urbana)
- Actividad en el último mes, por vereda

Cocorná, octubre 27 del 2018

ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO
RADICADO Nº 3284 HORA 27-10-18
Quien Recibe Yesica R

Señora
Lenis Quintero Montoya
Administradora SISBEN
Oficina del SISBEN
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico *Cocorná III*
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, es de vital importancia la información recabada mediante la herramienta de Selección de Beneficiarios Para Programas Sociales (SISBEN).

Esta información es importante, en tanto permite espacializar los análisis sociales y dar cuenta con mayor detalle de las realidades socioeconómicas y de vulnerabilidad en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la base de datos anonimizada o la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden

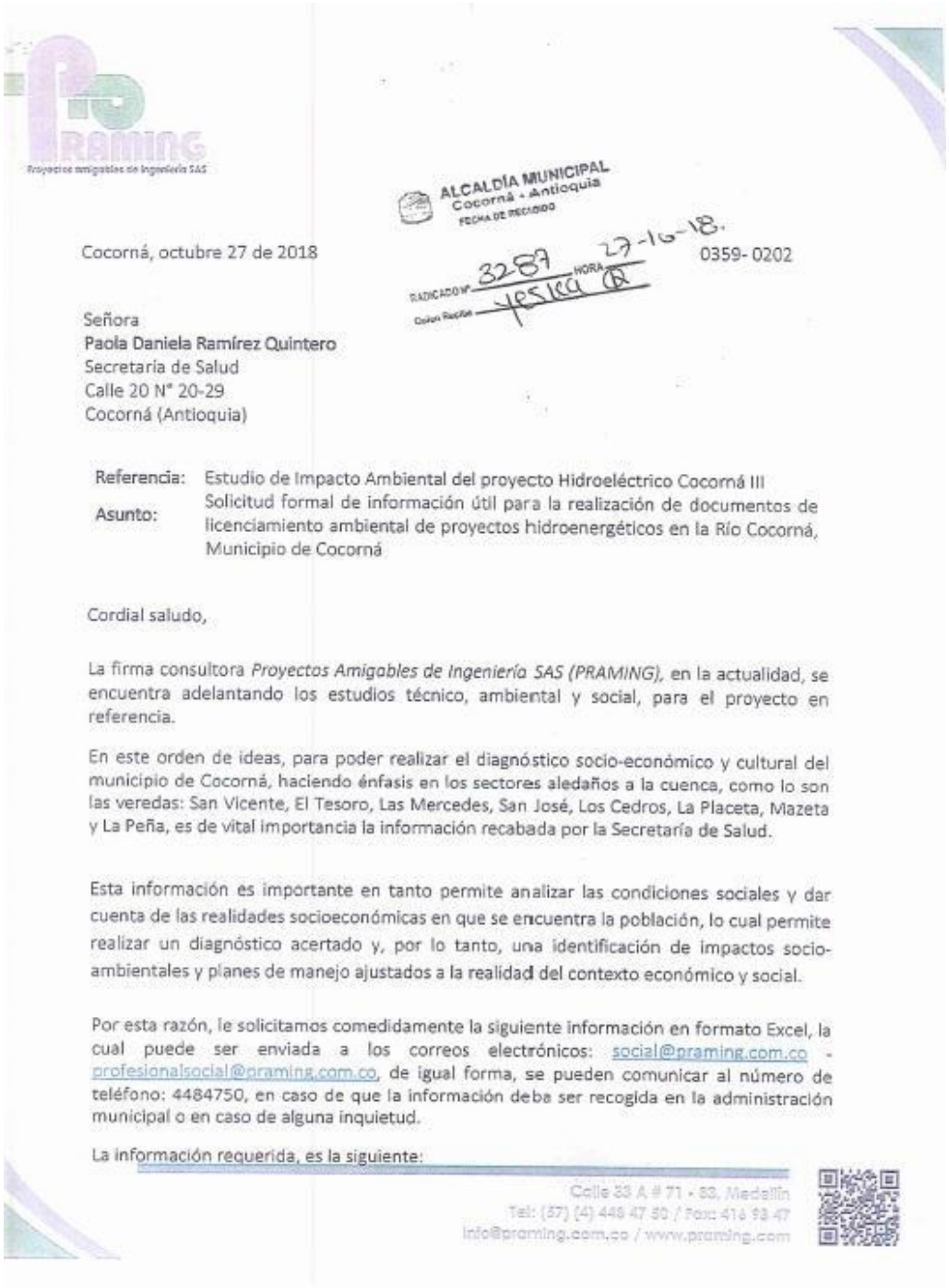
Calle 33 A # 71 - 83, Medellín
Telf: (57) (4) 448 47 50 / Fax: 416 93 47
info@praming.com.co / www.praming.com

Figura 2-14 Solicitud formal ante oficina del SISBEN

2.8.3.1.1.2 Datos Solicitados en la Secretaría de Salud[12]

- Cobertura en salud
- Morbilidad por consulta, hospitalización y urgencias
- Capacidad Operativa de la atención en salud
- Mortalidad materna
- Causas de mortalidad general
- Pérdida de años potenciales de vida
- Tasas de mortalidad en niñez
- Cobertura de vacunación
- Seguridad alimentaria
- Desnutrición, malnutrición
- Accesibilidad al servicio de salud
- Información sobre condiciones de discapacidad permanente, por vereda
- Tipo de afiliación al sistema general de seguridad social, por vereda
- Infraestructura de salud del municipio (identificación y localización por vereda)
- Programas de prevención y protección existentes, por vereda

[12] La solicitud formal se relaciona en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO
RADICADO Nº 3287 HORA 27-10-18.
Oficina Receptora

Cocorná, octubre 27 de 2018 0359- 0202

Señora
Paola Daniela Ramírez Quintero
Secretaria de Salud
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Cocorná III
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, como lo son las veredas: San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazeta y La Peña, es de vital importancia la información recabada por la Secretaría de Salud.

Esta información es importante en tanto permite analizar las condiciones sociales y dar cuenta de las realidades socioeconómicas en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden comunicar al número de teléfono: 4484750, en caso de que la información deba ser recogida en la administración municipal o en caso de alguna inquietud.

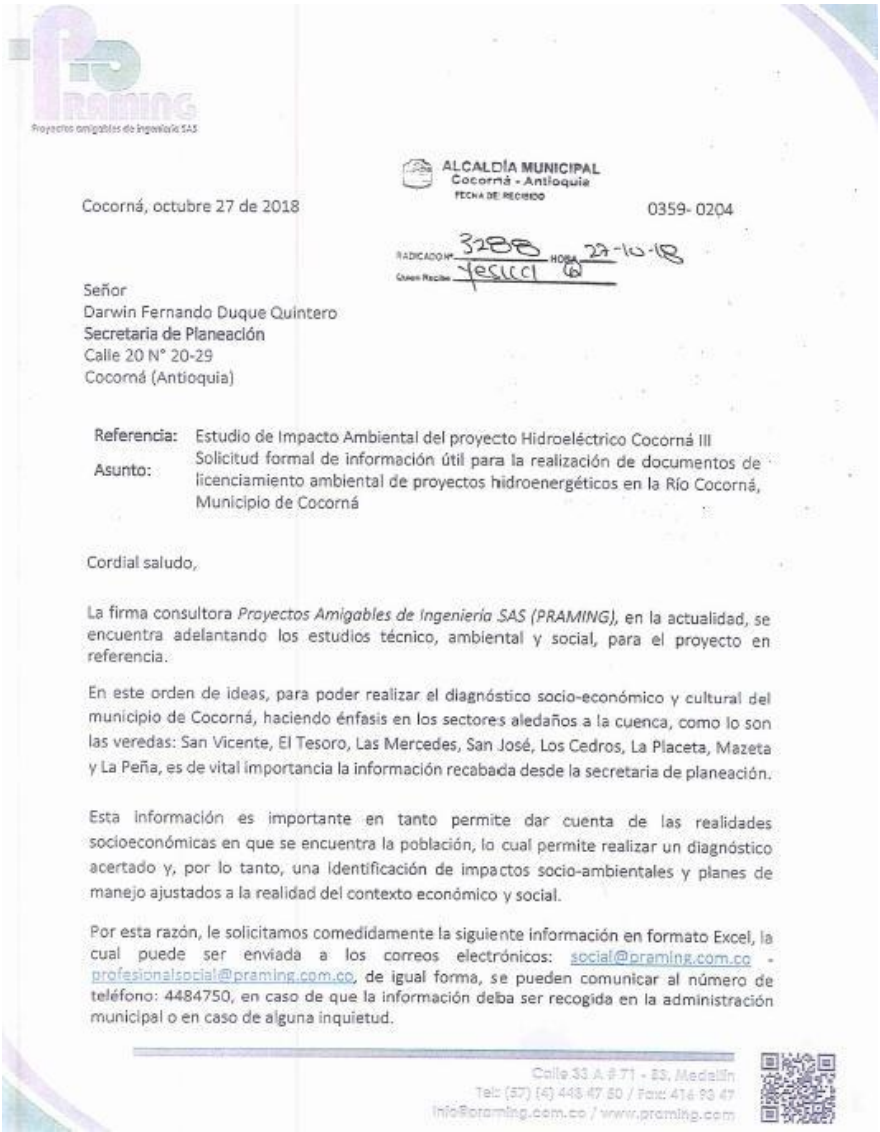
La información requerida, es la siguiente:

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín
Tel: (57) (4) 448 47 50 / Fax: 416 93 47
info@praming.com.co / www.praming.com

Figura 2-15 Solicitud formal ante oficina de Secretaría de Salud

2.8.3.1.1.3 Datos Solicitados en Secretaría de Planeación[13]

- Infraestructura de transporte vial: Para la infraestructura vial se debe hacer énfasis en los accesos veredales y su funcionalidad, así como en la infraestructura para conectividad (puentes, tarabitas, planchones y otros)
- Frecuencia y el tipo de servicio de transporte
- Uso de las vías por vereda
- Formas de conectividad y dificultades de acceso de las comunidades a centros nucleados



ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO

Cocorná, octubre 27 de 2018 0359- 0204

RADICADO Nº 3288 HORA 22-10-18
Quien Recibe Jessica

Señor
Darwin Fernando Duque Quintero
Secretaria de Planeación
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Cocorná III
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, como lo son las veredas: San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazeta y La Peña, es de vital importancia la información recabada desde la secretaria de planeación.

Esta información es importante en tanto permite dar cuenta de las realidades socioeconómicas en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden comunicar al número de teléfono: 4484750, en caso de que la información deba ser recogida en la administración municipal o en caso de alguna inquietud.

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín
Tels: (57) (4) 448 47 50 / Fax: 416 93 47
info@praming.com.co / www.praming.com

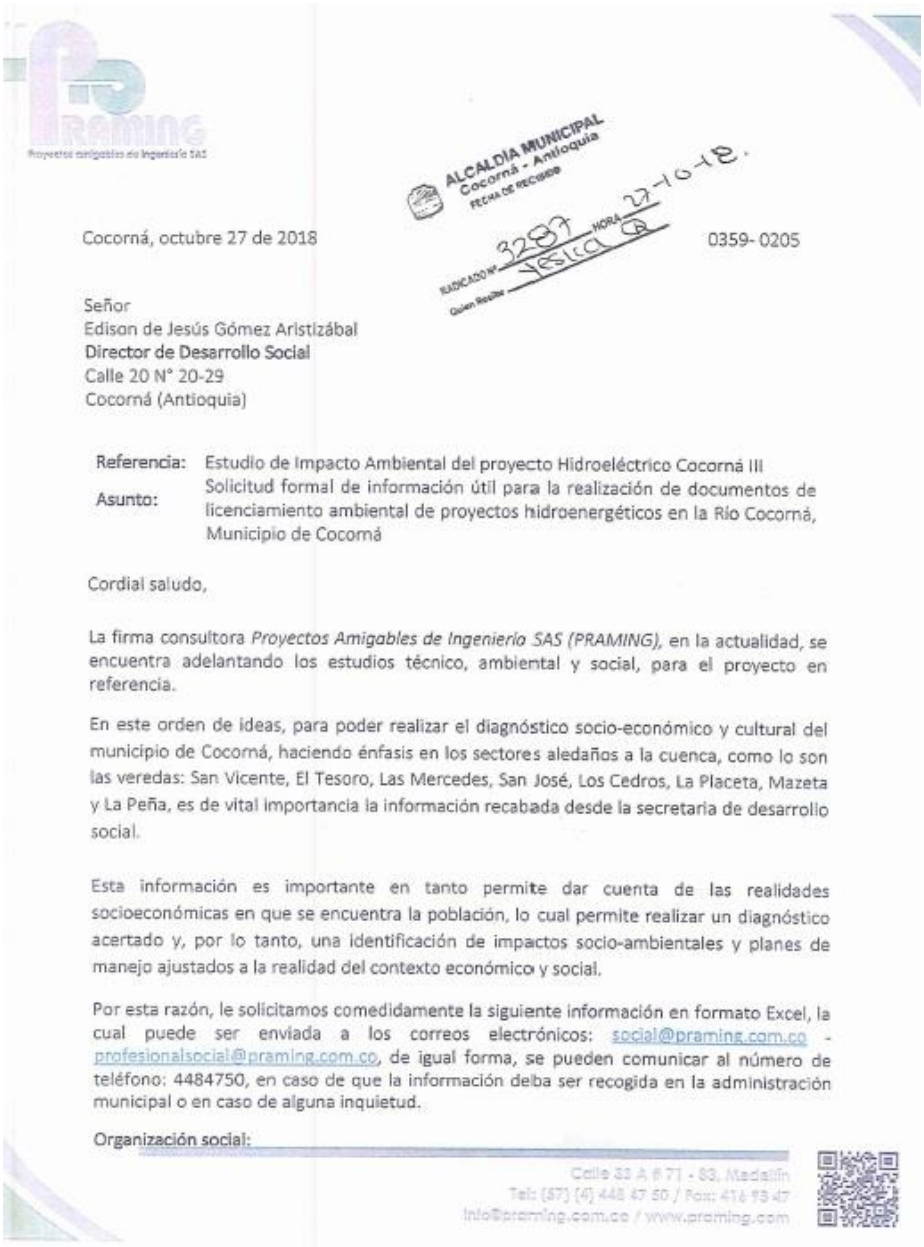
Figura 2-16 Solicitud formal ante Secretaría de Salud

[13] La solicitud formal se relaciona en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

2.8.3.1.1.4 Datos Solicitados en Secretaría de Desarrollo Social[14]

- Existencia de organizaciones privadas de carácter productivo, cooperativo, asociativo
- Existencia de organizaciones sociales: corporaciones, ONG, asociaciones, organizaciones ambientales
- Existencia de organizaciones comunales tales como Juntas Administradoras Locales, Juntas de Acción Comunal, Juntas Administradoras de Acueductos Veredales
- Organizaciones culturales
- Existencia de organizaciones o instituciones internacionales, nacionales, departamentales y municipales
- Medios de comunicación: radio, prensa, internet, televisión y emisoras comunitarias por vereda

[14] La solicitud formal se relaciona en el la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO
RADICADO Nº 3287 HORA 27-10-18
Quien Recibe

Cocorná, octubre 27 de 2018 0359- 0205

Señor
Edison de Jesús Gómez Aristizábal
Director de Desarrollo Social
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Cocorná III
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, como lo son las veredas: San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazeta y La Peña, es de vital importancia la información recabada desde la secretaria de desarrollo social.

Esta información es importante en tanto permite dar cuenta de las realidades socioeconómicas en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden comunicar al número de teléfono: 4484750, en caso de que la información deba ser recogida en la administración municipal o en caso de alguna inquietud.

Organización social:

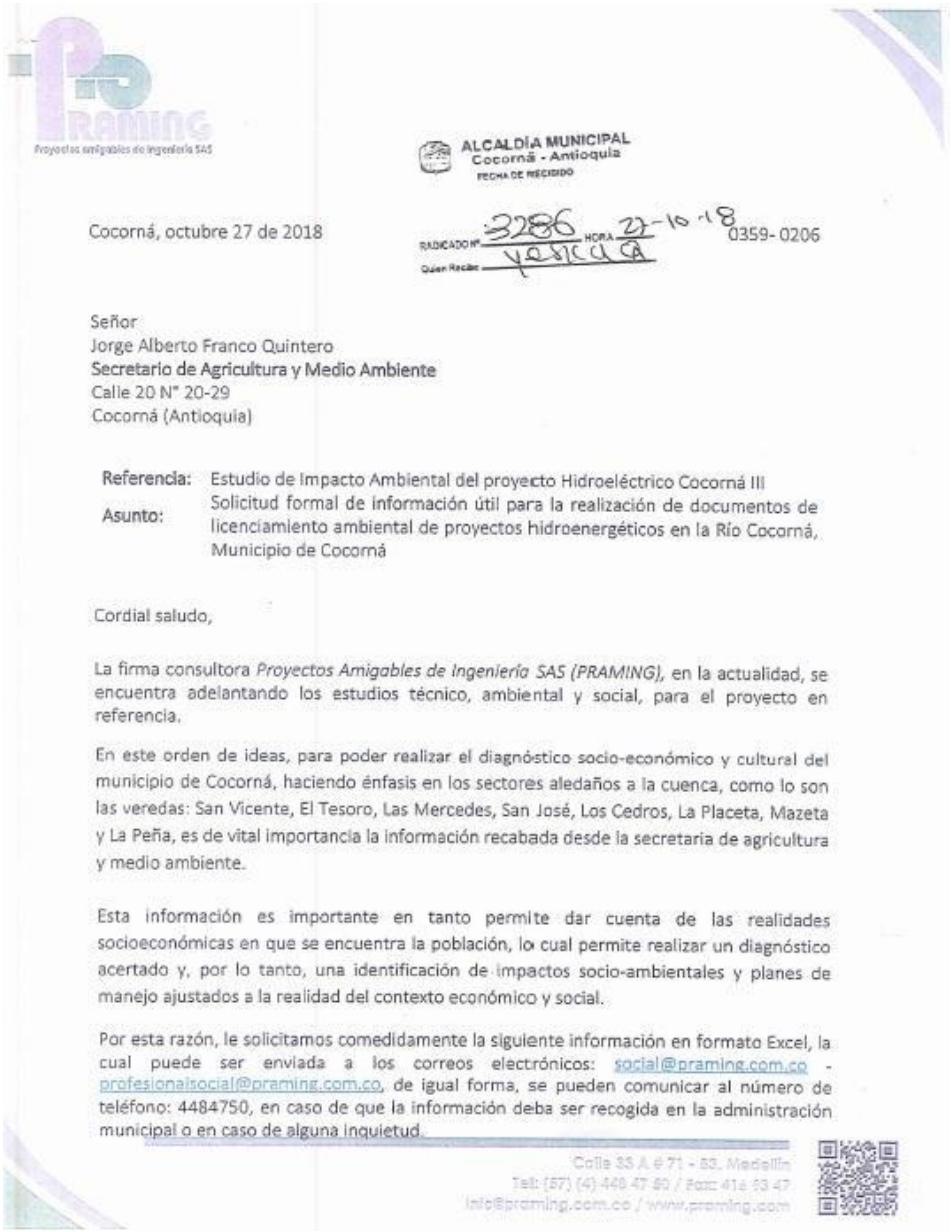
Figura 2-17 Solicitud formal ante Secretaría de Desarrollo Social

2.8.3.1.1.5 Datos Solicitados en Agricultura y Medio Ambiente[15]

- Empresas productivas en los sectores primario, secundario y terciario por vereda

[15] La solicitud formal se relaciona en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- Características del mercado laboral actual en cuanto al tipo de mano de obra que se encuentra en el área y la forma de condición laboral (empleo formal, empleo informal, desempleo y subempleo) y porcentajes de distribución en las principales actividades económicas por vereda
- Actividades económicas relacionadas con el turismo y/o la recreación, que se desarrollan en cada vereda
- Programas y proyectos productivos privados, públicos y/o comunitarios existentes, cadenas productivas y su relación con las dinámicas económicas de la región
- Infraestructura relacionada con las actividades económicas existentes (centros nucleados de influencia para comercialización, entre otros)
- Censo de pescadores, identificando número de pescadores, principales especies capturadas, métodos de captura (artes de pesca), captura por unidad de esfuerzo y tallas promedio
- Grupos sociales que sustenten su economía en el aprovechamiento de recursos hidrobiológicos



ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO

Cocorná, octubre 27 de 2018

RADICADO Nº 3286 HORA 27-10-18 0359-0206
Quien Recibe

Señor
Jorge Alberto Franco Quintero
Secretario de Agricultura y Medio Ambiente
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Cocorná III
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, como lo son las veredas: San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazeta y La Peña, es de vital importancia la información recabada desde la secretaria de agricultura y medio ambiente.

Esta información es importante en tanto permite dar cuenta de las realidades socioeconómicas en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden comunicar al número de teléfono: 4484750, en caso de que la información deba ser recogida en la administración municipal o en caso de alguna inquietud.

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín
Tel: (57) (4) 448 47 80 / Fax: 414 53 47
info@praming.com.co / www.praming.com

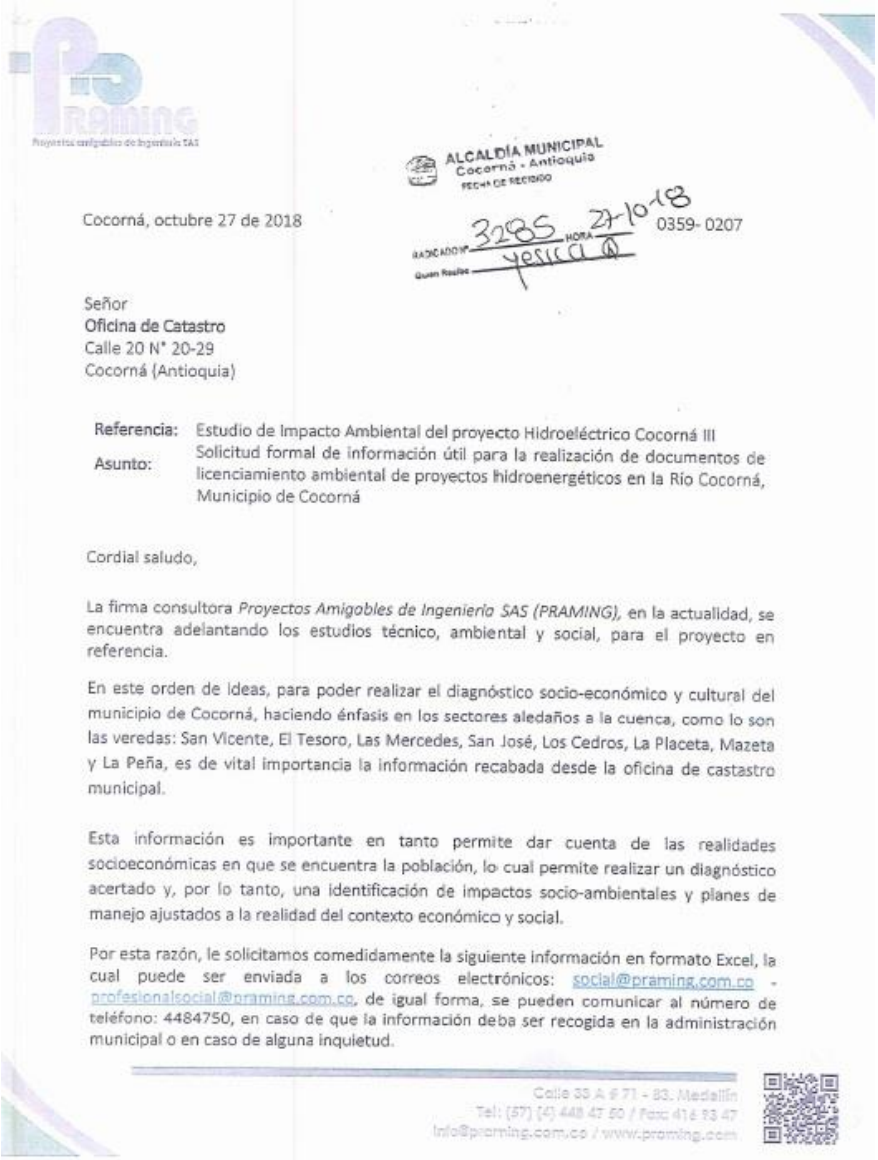
Figura 2-18 Solicitud formal ante Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente

2.8.3.1.1.6 Datos Solicitados a la Oficina de Catastro[16]

- Estructura de la propiedad (micro, minifundio, pequeña, mediana y gran propiedad) y formas de tenencia (tierras colectivas, comunitaria, propiedad privada, aparcería, arrendamiento, entre otras) por vereda

[16] La solicitud formal se relaciona en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- Número de viviendas urbanas y rurales
- Estratificación rural y urbana del municipio



ALCALDÍA MUNICIPAL
Cocorná - Antioquia
FECHA DE RECIBIDO
RADICADO N° 3285 HORA 27-10-18
Quien Recibe Yessica
0359- 0207

Cocorná, octubre 27 de 2018

Señor
Oficina de Catastro
Calle 20 N° 20-29
Cocorná (Antioquia)

Referencia: Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Cocorná III
Asunto: Solicitud formal de información útil para la realización de documentos de licenciamiento ambiental de proyectos hidroenergéticos en la Río Cocorná, Municipio de Cocorná

Cordial saludo,

La firma consultora *Proyectos Amigables de Ingeniería SAS (PRAMING)*, en la actualidad, se encuentra adelantando los estudios técnico, ambiental y social, para el proyecto en referencia.

En este orden de ideas, para poder realizar el diagnóstico socio-económico y cultural del municipio de Cocorná, haciendo énfasis en los sectores aledaños a la cuenca, como lo son las veredas: San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, La Placeta, Mazeta y La Peña, es de vital importancia la información recabada desde la oficina de castastro municipal.

Esta información es importante en tanto permite dar cuenta de las realidades socioeconómicas en que se encuentra la población, lo cual permite realizar un diagnóstico acertado y, por lo tanto, una identificación de impactos socio-ambientales y planes de manejo ajustados a la realidad del contexto económico y social.

Por esta razón, le solicitamos comedidamente la siguiente información en formato Excel, la cual puede ser enviada a los correos electrónicos: social@praming.com.co - profesionalsocial@praming.com.co, de igual forma, se pueden comunicar al número de teléfono: 4484750, en caso de que la información deba ser recogida en la administración municipal o en caso de alguna inquietud.

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín
Tel: (57) (4) 448 47 60 / Fax 416 93 47
info@praming.com.co / www.praming.com

Figura 2-19. Solicitud formal ante Oficina de Catastro

En términos generales, la institucionalidad dio respuesta a dos de nuestras solicitudes documentales: los datos del SISBEN y los datos de la secretaría de salud. Las demás dependencias hasta la fecha no han respondido. En la Tabla 2-57 se muestran las gestiones realizadas y las respuestas que hasta el momento se han obtenido.

Tabla 2-57. Gestión documental

Institución	Funcionario o dependencia	Gestión
Oficina del SISBÉN	Lenis Quintero Montoya	La funcionaria respondió mediante correo electrónico del 30 de noviembre del 2018.
Secretaría de Salud	Paola Quintero	La funcionaria respondió mediante correo electrónico del día jueves 22 de noviembre del 2018
Secretaría de Desarrollo Social	Édison de Jesús Gómez Aristizábal	El funcionario a la fecha (4703/2019) no ha referido respuesta.
Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente	Jorge Alberto Franco Quintero	El funcionario a la fecha (4703/2019) no ha referido respuesta
Secretaría de Planeación	Darwin Duque Quintero	El funcionario a la fecha (4703/2019) no ha referido respuesta
Oficina de Catastro	Oficina de Catastro	El funcionario a la fecha (4703/2019) no ha referido respuesta

Fuente: PRAMING

2.8.3.1.2 Procedimientos de recolección de información primaria para el área de caracterización a detalle (ANLA, 2018, págs. 34-35)

Dado que la información social disponible en las plataformas oficiales identifica datos a escala municipal, en un ejercicio de caracterización en donde los intereses investigativos se encuentran principalmente enfocados a las áreas urbanas, es necesario complementar los análisis sociales con información primaria, para caracterizar las familias que se encuentran aledañas al proyecto.

Así, para la correcta caracterización de las veredas y familias ubicadas en el área de influencia del proyecto es necesario realizar un cuestionario que permita al equipo social conocer de primera mano las condiciones socioeconómicas y culturales con una escala de detalle, que posibilite realizar una planeación ambiental acertada y rigurosa.

La metodología por la cual se genera la información del área de influencia está basada en 3 cuestionarios: la ficha veredal, realizada a miembros de las JAC con el fin de caracterizar a nivel general las veredas; la ficha de caracterización socio-ambiental, aplicada en cada uno de los hogares del área de caracterización a detalle; y los cuestionarios aplicados a grupos focales en el marco del proceso participativo del Estudio de Impacto Ambiental. En este apartado se da cuenta de la ficha veredal y la ficha de caracterización familiar. Los cuestionarios a grupos focales, se explican a profundidad en siguiente apartado.

2.8.3.1.2.1 Ficha de Caracterización Veredal del Área de Influencia del Proyecto

La ficha veredal da cuenta de datos cualitativos sobre la historia de poblamiento del municipio, el número de familias de la vereda, la dinámica de migración poblacional, las características espaciales de las edificaciones, los equipamientos veredales, el estado de las instalaciones y programas de educación, la atención en salud y la espacialidad del centro de atención, el estado de vías, la organización política, administrativa, asociativa y social de la vereda y los proyectos de desarrollo social que se adelantan en la unidad territorial. Ver Figura 2-20.

CARACTERIZACION VEREDAL | CODIGO FT-GCD-10 | VERSION 01 | VIGENTE DESDE: 2019-02

Caracterización Unidad Territorial — Con el fin de conocer la situación socio-económica de cada una de las Unidades Territoriales aledañas a los proyectos Cocorná 1,2 y 3, se desarrolla el siguiente cuestionario:

Vereda: | Fecha: DD MES AÑO | Nombre de la persona que suministra la información: | Cargo:

Límites de la vereda: | Nombre de la persona que suministra la información: | Cargo:

Nombre de la persona que suministra la información: | Cargo:

Información demográfica:

Habitantes (SISBEN)		Hogares (SISBEN)		¿Cuántas familias han llegado a la vereda el último año?	¿Cuántas familias han salido de la vereda el último año?
Habitantes (Comunidad)		Hogares (Comunidad)		Número de personas que han llegado a la vereda el último año	Número de personas que han salido de la vereda el último año
Número de personas nacidas el último año		Número de personas fallecidas el último año		Población indígena / Población Afro / Otra ¿Cuál?	¿Cuáles son las principales razones para que las personas abandonen la vereda?

Describa brevemente la historia de poblamiento de la vereda

¿Cuáles son las principales razones para que las personas lleguen a la vereda?

¿De dónde provienen las personas que llegaron a la vereda? | ¿Hacia dónde se dirigen las personas que salieron de la vereda?

¿Hubo eventos de desplazamiento forzado en la vereda? | Si | No | ¿Cuántas familias abandonaron la vereda por desplazamiento? | ¿Cuántas familias han retornado?

Información espacial/Servicios sociales

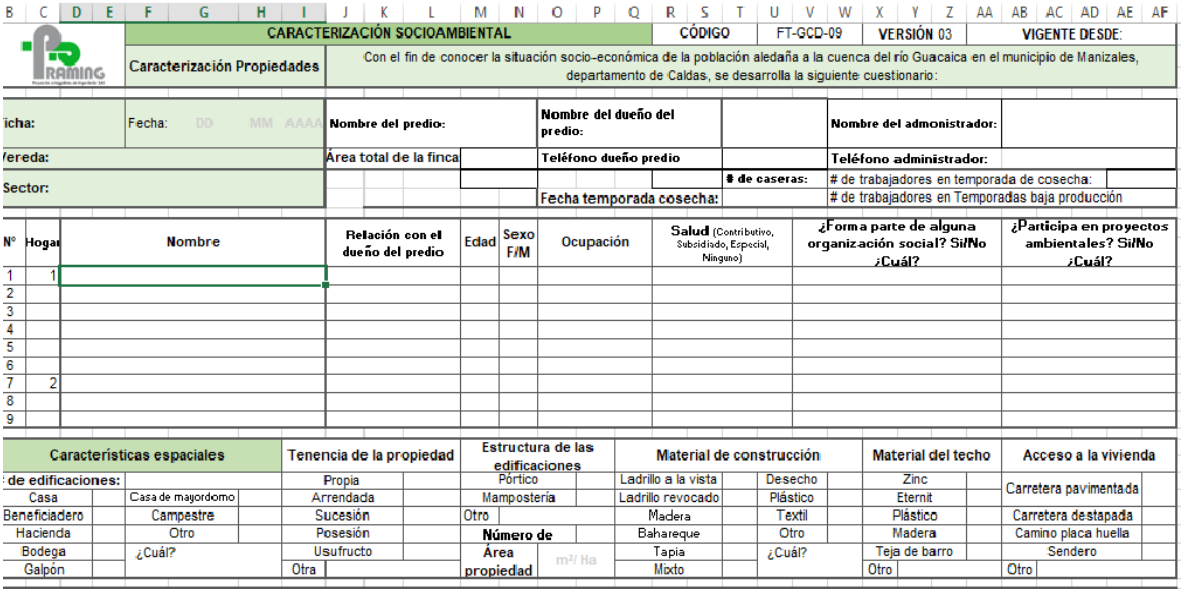
Número de viviendas en la vereda (SISBEN)		Viviendas Ocupadas		¿Se han realizado proyectos de mejoramiento de vivienda?	¿Cuantas viviendas cuentan con acueducto?	
		Viviendas desocupadas			¿El acueducto cuenta con planta de potabilización?	Si / No

Figura 2-20 Fichas de caracterización veredal

2.8.3.1.2.2 Ficha de Caracterización Familiar Área de Caracterización a detalle

Por medio de esta herramienta se caracterizan con mayor detalle las poblaciones bajo influencia del proyecto. El cuestionario (**¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**) es realizado casa a casa, recogiendo la información de los habitantes. Esta información permite caracterizar a la familia y sus integrantes, las condiciones espaciales de la vivienda e infraestructura productiva asociada, las vías y los medios de transporte, el estado de los vertimientos, la disposición final de los residuos sólidos, las condiciones económicas de la familia, las áreas totales del predio y de la construcción, el uso principal del predio, los referentes paisajísticos, la percepción de inseguridad y la percepción sobre conflictos.

Así mismo, la ficha se acompaña de la toma de un punto geográfico mediante sistema de posicionamiento global (GPS) y fotografías de las viviendas, esto para posibilitar un acercamiento a las calidades espaciales de la vivienda. Esta información (cuestionario, punto GPS y fotografías) permite tener una caracterización con un detalle máximo de las condiciones sociales y económicas en las que se encuentran las personas.



CARACTERIZACIÓN SOCIOAMBIENTAL		CÓDIGO	FT-GCD-09	VERSIÓN 03	VIGENTE DESDE:
Caracterización Propiedades	Con el fin de conocer la situación socio-económica de la población aledaña a la cuenca del río Guacaica en el municipio de Manizales, departamento de Caldas, se desarrolla la siguiente cuestionario:				

icha:	Fecha: DD MM AAAA	Nombre del predio:	Nombre del dueño del predio:		Nombre del admonistrador:	
Vereda:		Área total de la finca	Teléfono dueño predio		Teléfono administrador:	
Sector:				# de caseras:	# de trabajadores en temporada de cosecha:	
			Fecha temporada cosecha:		# de trabajadores en Temporadas baja producción	

N°	Hogar	Nombre	Relación con el dueño del predio	Edad	Sexo F/M	Ocupación	Salud (Contributivo, Subsidiado, Especial, Ninguno)	¿Forma parte de alguna organización social? Si/No ¿Cuál?	¿Participa en proyectos ambientales? Si/No ¿Cuál?
1	1								
2									
3									
4									
5									
6									
7	2								
8									
9									

Características espaciales			Tenencia de la propiedad	Estructura de las edificaciones		Material de construcción		Material del techo	Acceso a la vivienda
de edificaciones:			Propia	Pórtico		Ladrillo a la vista	Desecho	Zinc	Carretera pavimentada
Casa	Casa de mayordomo		Arrendada	Mampostería		Ladrillo revocado	Plástico	Eternit	
Beneficiadero	Campestre		Sucesión	Otro		Madera	Textil	Plástico	Carretera destapada
Hacienda	Otro		Posesión	Número de		Bahareque	Otro	Madera	Camino placa huella
Bodega	¿Cuál?		Usufructo	Área propiedad	m²/ Ha	Tapia	¿Cuál?	Teja de barro	Sendero
Galpón			Otra			Mixto		Otro	Otro

Figura 2-21. Ficha de caracterización socio-ambiental

2.8.3.1.3 Procesamiento y Análisis de la Información

La información estadística recolectada mediante las fichas es sistematizada y tabulada de manera que se puedan generar datos para cada variable necesaria en los diversos componentes del medio socioeconómico.

Mediante este instrumento se tiene el total de la información social y económica de los predios dentro del área de caracterización a detalle, y de esta manera, se determinan datos demográficos, espaciales, culturales, políticos administrativos, económicos y de tendencias del desarrollo.

A su vez, estos datos son comparados y contrarrestados con la información aportada por las bases de datos oficiales, de manera que el cruce de la información permita generar análisis que ofrezcan el contexto general del territorio.

2.8.4 Caracterización de servicios ecosistémicos

Los Servicios Ecosistémicos (SE) son aspectos de los ecosistemas que contribuyen, directa o indirectamente, al bienestar de la sociedad, transformando los atributos de los ecosistemas en beneficios para los individuos, sociedades y proyectos, teniendo un rol vital en el bienestar humano (Landsberg, Treweek, Stickler, Henninger, & Venn, 2013; Laterra, Barral, Carmona, & Nahuelhual, 2015). En los estudios de impacto ambiental, los SE integran la Caracterización y Zonificación Ambiental con la Evaluación y Manejo de los impactos del proyecto (MADS & ANLA, 2018).

Para la evaluación de los SE en el área de influencia del proyecto, se utiliza la información, primaria y secundaria, usada para la Caracterización del Área de

Influencia, siguiendo la metodología del World Resources Institute (WRI; Landsberg et al., 2013), mostrada en la Figura 2-22.

Inicialmente se identifican los SE en el área de influencia y se clasifican en servicios de aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales; para la identificación se tiene en cuenta la efectividad del beneficio aportado por estos SE, tanto para los actuales beneficiarios como los potenciales, entre estos el mismo proyecto. La identificación se lleva a cabo en dos partes, la primera consta de identificar preliminarmente los SE, a partir de revisión de literatura relacionada y análisis de información secundaria del área de influencia; la segunda parte se refiere al ajuste de la lista preliminar de SE a partir del análisis de la información primaria obtenida en las salidas de campo correspondientes a la Caracterización del Área de Influencia.

Seguidamente, los SE son priorizados de acuerdo a su importancia para los beneficiarios y/o para el proyecto, es decir, el nivel de dependencia (alta, media o baja) de estos a los SE, como se muestra en la Figura 2-23 y Figura 2-24. Los SE que son priorizados son aquellos de los cuales existe un nivel de dependencia medio o alto, y con estos se continúa la evaluación, definiendo, inicialmente, las unidades e indicadores de análisis.

Después de la priorización, se evalúa el estado actual de los SE usando, para cada uno, indicadores que representen las condiciones reales del servicio. Para la definición de estos indicadores se requiere de una reunión de expertos, en donde se analicen los indicares disponibles, se evalúe su pertinencia y se establezca la escala de evaluación para cada uno de estos. El escenario futuro se evalúa usando los mismos indicadores planteados para el escenario actual y teniendo en cuenta los escenarios prospectivos de los instrumentos de planeación disponibles (POT, POMCA).

Finalmente, la formulación de los Planes de Manejo Ambiental consta de las actividades encaminadas a evitar, recuperar y/o mitigar los impactos del proyecto sobre los SE; para esto se tienen en cuenta aquellos servicios de los cuales existe dependencia alta de los beneficiarios y/o del proyecto. Es importante mencionar que la inclusión de los SE con dependencia media, en la formulación de los Planes de Manejo, se define a partir del análisis de los resultados de la evaluación de los escenarios futuros (paso 4), es decir, se incluyen en los procedimientos del paso 5 en caso de que los escenarios prevean afectaciones considerables a estos servicios, ver Figura 2-22.

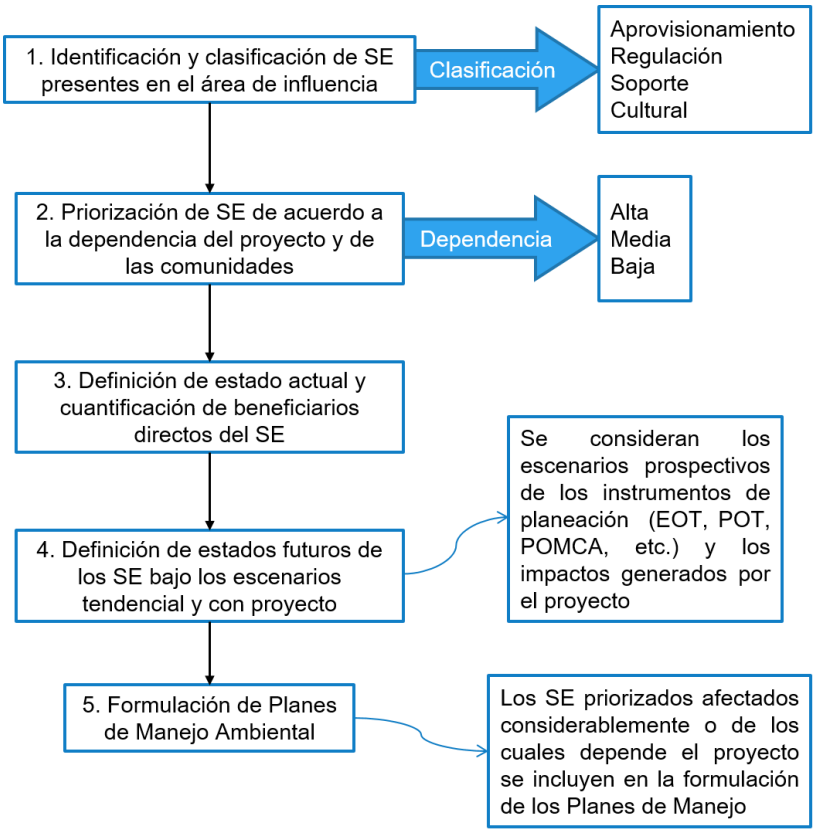


Figura 2-22. Procedimiento para la evaluación de servicios ecosistémicos
Fuente: Praming, 2019; adaptado de Landsberg et al. (2013)

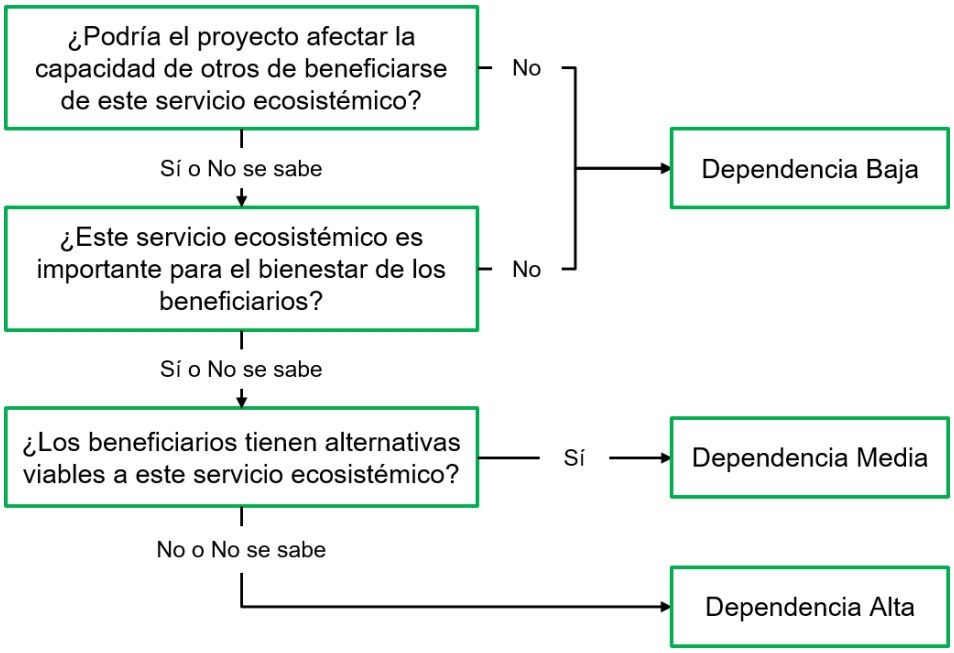


Figura 2-23. Priorización de acuerdo con la dependencia de los beneficiarios al servicio ecosistémico.
Fuente: Praming, 2019; adaptado de Landsberg et al. (2013)

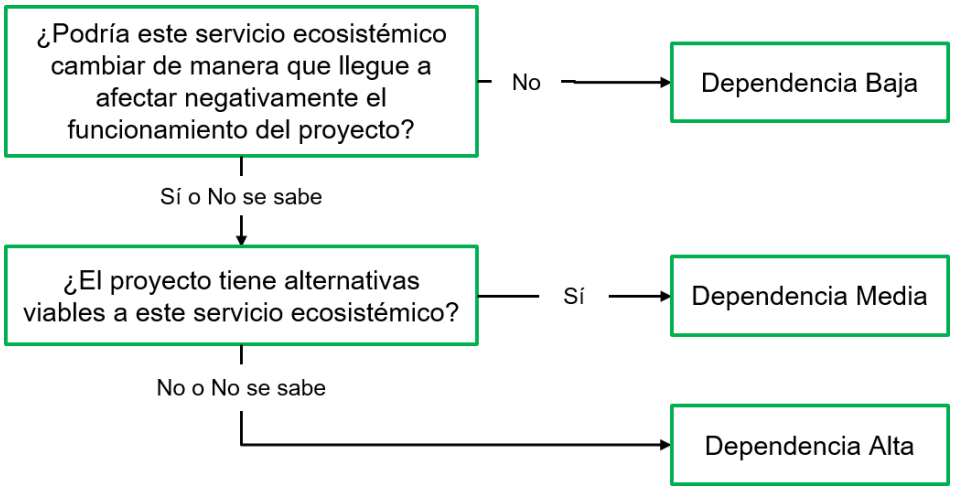


Figura 2-24. Priorización de acuerdo con la dependencia del proyecto al servicio ecosistémico

Fuente: Praming, 2019; adaptado de Landsberg et al. (2013)

2.8.5 Evaluación Ambiental de Impactos

Para el desarrollo de la presente evaluación ambiental se establecieron mesas interdisciplinares de trabajo para cada uno de los medios evaluados (abiótico, biótico y socioeconómico y cultural), con el propósito de obtener resultados más objetivos.

Para la identificación de impactos se tuvieron en cuenta los Factores Ambientales, que para los escenarios evaluados se seguirán llamando Factores Ambientales susceptibles de Recibir Impactos (FARI); factores que podrían resultar afectados desde el punto de vista abiótico, biótico y/o socioeconómico con la entrada del proyecto.

Además de los FARI, se identificaron las actividades más relevantes y que podrían generar cambios en el medio sobre el cual se desarrollan (Acciones Susceptibles de Generar Impactos –ASPI–), en cada una de las etapas del proyecto: estudios, construcción, operación y abandono.

2.8.5.1 Escenario sin proyecto

Para el desarrollo de la evaluación en el escenario sin proyecto se seleccionaron aquellos Factores Ambientales que fueron descritos en la caracterización y que son objeto de los cambios y perturbaciones derivados de la dinámica del entorno.

En el análisis se tuvieron en cuenta tanto causas naturales como antrópicas que actualmente afectan el medio socioeconómico y al medio ambiente en la zona de interés.

Para cada uno de los Factores Ambientales identificados en cada medio, se describió la condición actual y la tendencia de desarrollo de la misma, bajo el supuesto de la no implementación del proyecto**.**

El insumo principal para la realización de la evaluación ambiental sin proyecto fue el levantamiento de la línea base del área de estudio para cada uno de los medios, dado que en ella se refleja el estado actual del ecosistema en el área de estudio.

2.8.5.2 Escenario con proyecto

Para el escenario con proyecto se realizó un análisis cualitativo y un análisis cuantitativo.

2.8.5.2.1 Análisis cualitativo

En el análisis cualitativo se identificaron las actividades del proyecto que afectarán los distintos Factores Ambientales en las etapas del proyecto (estudios, construcción, operación y desmantelamiento).

2.8.5.2.2 Análisis cuantitativo

La metodología empleada para la evaluación ambiental del Proyecto, es una adaptación de la Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental de Vicente Conesa Fernández Vitora (Conesa, 1995).

Se eligió el método completo de evaluación, ya que éste exige un nivel de profundización elevado, permitiendo identificar la gran mayoría de aspectos a evaluar por la ejecución del proyecto. Además, es un método preciso para realizar una valoración de impactos de forma numérica sencilla y con una ponderación de los impactos.

Una vez identificadas las acciones o actividades que generan alteraciones sobre los distintos Factores Ambientales, se realizó una evaluación de los respectivos impactos, y se elaboró una matriz (ver Capítulo 8 Evaluación Ambiental de este EIA) en la cual fueron calificados de manera cuantitativa dichos impactos, a través de criterios que permiten establecer su importancia y magnitud.

En la matriz se evaluó la importancia ambiental de cada impacto, la cual está en función de la intensidad o influencia de una alteración sobre cada uno de los elementos ambientales identificados como Factores Ambientales susceptibles de Recibir Impactos (FARI), y está en función de 11 atributos que caracterizan dicho efecto: naturaleza, intensidad, extensión, momento, duración, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad.

A continuación, se describe cada una de los atributos con los que fue analizada la importancia ambiental de los impactos identificados:

Carácter del impacto o Naturaleza (N): alude al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que se llevan a cabo durante el proyecto, que actuarán sobre los diferentes factores considerados.

Intensidad (I): se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor. La escala de calificación estará en el rango de 1 a 12. El mayor valor expresará la destrucción total del factor en el área en que se produce el efecto, y el menor valor (1), el mínimo efecto. Los valores 2, 4 y 8 reflejarán las situaciones media, alta y muy alta, respectivamente.

Extensión (E): se refiere al área de influencia del impacto y su relación con el área de influencia del proyecto. El rango en este atributo estará entre valores de uno (1) y ocho (8); esto significa que, si la acción genera un efecto muy localizado, el impacto tendrá un carácter puntual (1), en cambio, si el efecto no tiene una localización precisa dentro del entorno del proyecto, el impacto será total (8), dentro de las situaciones intermedias se considera un impacto parcial (2) y extenso (4).

Momento (M): tiempo que transcurre entre la acción y el comienzo del impacto sobre el factor del medio considerado. Cuando el tiempo en que transcurre es inferior a un

año, se considera de corto plazo (3); si el período que transcurre es de 1 a 5 años, será considerado de mediano plazo (2), y si el efecto tarda más de 5 años, se considera de largo plazo (1). Cuando sea inmediato tendrá un valor de cuatro (4).

Duración (D): es el tiempo que transcurre desde que aparece el impacto hasta que el factor retorna a sus condiciones iniciales, previas a la acción, por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

Si la duración del impacto es mínima o nula, se considera que la acción es fugaz y recibirá un valor de cero (0). Por su parte, si la permanencia del impacto tiene lugar en un periodo inferior a un año, se considera momentáneo y recibirá un valor de uno (1); si dura entre 1 – 5 años, será temporal (2); si permanece entre 5 y 10 años será persistente (3), y si el impacto tiene una duración superior a los 10 años, lo consideramos como permanente asignándole un valor de cuatro (4).

Reversibilidad (R): indica la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medidas naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio.
Si el elemento afectado tiene la posibilidad de restituirse en el corto plazo (menor a un año), se le asignará un valor de uno (1); si es de mediano plazo (entre 1 y 5 años), su valor será de dos (2); para el largo plazo (entre 5 y 10 años) será de tres (3), y si por el contrario el efecto puede recuperarse en más de 10 años, a lo cual se le asocia la característica de irreversible, se le asignará entonces el valor de cuatro (4).

Sinergia (S): Se presenta cuando hay una interacción entre dos o más impactos de tal forma que el efecto producido es mayor al efecto de cada impacto actuando de forma independiente. Cuando no se presente la interacción de impactos que aumenten los efectos, la valoración será uno (1); si se presenta la interacción, pero el efecto global no es mucho mayor que el efecto individual, se considera que la sinergia es moderada, con una valoración igual a dos (2). Por su parte, si el efecto de la sinergia resulta en un impacto mucho mayor que el generado por cada impacto independientemente, se considera altamente sinérgico y la valoración será de cuatro (4).

Acumulación (A): hace alusión al incremento progresivo de la manifestación del efecto. Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple), el efecto se le asigna un valor de uno (1). Si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a cuatro (4).

Efecto (EF): hace mención a la relación causa – efecto, es decir, la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de la acción.

Si el efecto es directo, la repercusión de la acción es consecuencia directa de ésta. Mientras que cuando el efecto es indirecto, la manifestación del impacto no es consecuencia de la acción. Si es directo toma valor de cuatro (4), y si es indirecto toma un valor de uno (1).

Periodicidad (PD): Se refiere a la regularidad con que se presenta el efecto.

A los efectos continuos se les asigna un valor de cuatro (4), para los periódicos (que se presenta de forma cíclica) la valoración será de dos (2), y a los de aparición irregular (en donde el momento de la manifestación del impacto no se puede predecir) se les asigna un valor de uno (1).

Recuperabilidad (RC): Posibilidad de recuperación del elemento (total o parcialmente) a las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.

Si al efecto que se produce puede asignársele una medida que una vez aplicada propicie una recuperación inmediata y total, el valor asignado será de uno (1); si la recuperación total se logra en el mediano plazo (menos de 5 años), se asigna un valor de (2); si la medida es de mitigación (la recuperación llega a ser solo parcial), el valor será de cuatro (4), y en el caso de ser irrecuperable, pero con la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor adoptado será de ocho (8). Puede presentarse el caso que un impacto generado en un determinado factor pueda tener medidas de más de un tipo, en lo cual se asignará el valor mayor, considerando así el peor escenario.

Teniendo en cuenta la descripción de cada uno de los atributos que servirán para determinar la importancia del impacto, es decir, la importancia del efecto de una acción sobre un Factor Ambiental, se procede a aplicar la Ecuación 2-2. También se presenta la Tabla 2-58, que es el resumen de cada uno de los rangos de los atributos que fueron considerados para llevar a cabo el análisis.

$$I = N(3I+2E+M+D+R+RC+S+A+EF+PD)$$

Ecuación 2-2. Ecuación para determinar la importancia del impacto

Tabla 2-58. Metodología para la evaluación de la Importancia Ambiental de Impactos

Carácter del impacto o naturaleza (N)		Magnitud / Intensidad (I) (grado de destrucción)	
Impacto beneficioso	+1	Bajo: Alteración mínima sobre el elemento	1
Impacto perjudicial	-1	Medio: Algunas características del elemento cambian parcialmente	2
		Alto: Algunas características del elemento cambian completamente	4
		Muy Alto: Las principales características del elemento cambian completamente.	8
		Total: Se presenta destrucción del elemento, con efectos negativos en el futuro.	12

Extensión (E) (Área de influencia)		Momento (M) (Plazo de manifestación)	
Puntual: El efecto del impacto no se extiende más allá del sitio de ocurrencia.	1	Largo plazo: Manifestación del impacto en un tiempo mayor a 5 años.	1
Parcial: El efecto se extiende al área de influencia.	2	Mediano plazo: Manifestación del impacto entre el primer y el quinto año de ejecutada la actividad.	2
Extenso: El efecto se extiende más allá del área de influencia.	4	Corto plazo: El tiempo transcurrido entre la aparición del impacto y el comienzo de su efecto es inferior a un año.	3
Total: El efecto se extiende en toda el área de influencia y no tiene un sitio definido de ocurrencia.	8	Inmediato: El impacto se manifiesta con el inicio de la actividad que lo genera.	4
Duración (D) (Permanencia del efecto)		**Reversibilidad (R)**	
Fugaz: Duración del efecto es mínima o nula	0	Corto Plazo: El elemento retorna a su estado inicial en menos de 1 año.	1
Momentáneo: El efecto tienen lugar durante menos de un año	1	Mediano Plazo: Si la recuperación se realiza entre 1 y 5 años.	2
Temporal: Duración del efecto entre 1 y 5 años.	2	Largo Plazo: La recuperación del factor alterado toma entre 5 y 10 años.	3
Persistente: El efecto permanece entre 5 y 10 años	3	Irreversible: Recuperación es mayor a 10 años.	4
Permanente: El efecto no cesa y continúa manifestándose con una duración superior a los 10 años.	4		
Sinergia (S) (Regularidad de la manifestación)		**Acumulación (A) (Incremento progresivo)**	
Sin sinergismo: o se presenta interacción de impactos que aumenten los efectos.	1	Simple: No se presenta efecto acumulativo	1
Sinergia moderada: Se presenta la interacción, pero el efecto no es mucho mayor que el efecto individual.	2	Acumulativo: Se presenta efecto acumulativo	4
Altamente sinérgico: El efecto de la sinergia resulta en un impacto mucho mayor que el producido por cada impacto independiente.	4		
Efecto (EF)		**Periodicidad (PD)**	

(Relación causa – efecto)		(Incremento progresivo)	
Indirecto: La manifestación no es consecuencia de una acción directa, sino que se da como un efecto secundario.	1	Irregular o discontinuo: El momento de la manifestación del impacto no se puede predecir.	1
Directo: El impacto es causado directamente por la actividad.	4	Periódico: El efecto sobre el elemento se presenta de forma cíclica.	2
		Continuo: Manifestación constante del efecto desde el inicio de la actividad.	4
Recuperabilidad (RC) (Reconstrucción por medios humanos)		**Importancia (I)**	
Inmediata: Recuperación total una vez aplicada la medida correctora.	1	I = N(3I+2E+M+D+R+RC+S+A+EF+PD)	
Mediano plazo: Recuperación total en menos de 5 años.	2		
Mitigable: La recuperación llega a ser solo parcial.	4		
Irrecuperable: No hay forma de restablecer el elemento a su condición inicial.	8		

Una vez aplicada esta metodología, se determinó la relevancia de los impactos, donde aquellos con valores de importancia inferiores a 25, se consideran irrelevantes; los impactos moderados presentan una valoración entre 25 y 49, los severos se encuentran entre los valores 50 y 74, y aquellos cuyo puntaje sea superior a 74 serán críticos. Ver Tabla 2-59.

Tabla 2-59. Puntajes asociados a la Importancia Ambiental del Impacto (IAI)

Importancia	Puntaje
Irrelevante	IAI < 25 (Verde)
Moderada	25 – 49 (Amarillo)
Severa	50 – 74 (Naranja)
Crítica	IAI > 74 (Rojo)

2.9 Personal de trabajo

A continuación, en la Tabla 2-60 se relacionan los profesionales que participaron en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Cocorná III.

Tabla 2-60. Relación de profesiones participantes en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.

Nombre	Profesión	Temática
Jorge Cuartas Cardona TP: 0520263697ANT	Ingeniero Civil	Dirección técnica del estudio y diseño obras civiles
Astrid Elena Cuervo TP: 05237135920ANT	Ingeniera Sanitaria M.Sc Recursos Hídricos	Hidrología y Coordinación Técnica del proyecto
Luz Adriana Morales TP 2041-2006	Bióloga. Esp. en Ciencias de la tierra y medio ambiente U. EAFIT	Coordinadora medio Biótico
David Gonzalo Henao	Politólogo. M. Sc en Hábitat	Coordinador medio Socioeconómico
Alejandro Giraldo Castaño	Sociólogo	Medio Socioeconómico
Daniel Cuartas Villa	Psicólogo en formación	Medio Socioeconómico
Edwin Echeverri Salazar TP: 05238-322758ANT	Ingeniero Ambiental.	Calidad del agua y sedimentos
Jhoan Sebastián Velásquez TP: 05202-400843ANT	Ingeniero Civil	Auxiliar en diseño de obras civiles
Iván Ulises López TP: 05202221195	Ingeniero Civil	Cartografía temática – SIG y componente Paisaje
Manuela Gómez Monsalve TP: 05223-423436	Ingeniera geóloga	Componentes de geología, geomorfología, hidrogeología y geotecnia
Mateo Pérez Colorado TP: 05238-414304ANT	Ingeniero Ambiental	Caracterización climática, demanda de agua, calidad del aire y ruido.
Andrea Agudelo Guzmán TP: 011037-0524004 ANT	Ingeniera Civil	Auxiliar SIG e hidrología
Laura Alejandra Gil TP: 05266245150ANT	Ingeniera Forestal. Esp. Sistemas de Información Geográfica	Levantamiento en campo de información forestal
Angélica Ochoa Beltrán TP: 05266-277011ANT	Ingeniera Forestal	Análisis de datos y caracterización componente Flora

Nombre	Profesión	Temática
Fabián Hoyos TP: 0522340035	Ingeniero Geólogo M. Sc Master Of Science	Asesoría hidrogeología
Jhon Ernesto Carreño TP: 05223-306777ANT	Ingeniero Geólogo	Geología y geotecnia
Pioquinto Trujillo Quintero T.P. 1648-2001	Biólogo	Componente Epifitas
Cesar Velásquez TP: 2118-2006	Biólogo. Esp. En Gestión Ambiental.	Vegetación riparia
Diana Bermúdez Martínez T.P.: 43151831	Bióloga	Componente Mastofauna
Marley Tatiana Gómez T.P. 1038414223	Bióloga	Componente Herpetofauna
María Camila Estrada T.P. 1036605758	Bióloga	Componente Avifauna
Isabel Cristina Gil	Ingeniera Ambiental	Componente Perifiton (2015)
Ana Milena Zapata	Bióloga	Componente Perifiton (2018)
Carlos Pérez Vera	Biólogo	Componente Macroinvertebrados (2015)
Yuliana Patiño	Biólogo	Componente Macroinvertebrados (2018)
Daniel Restrepo Santamaría	Biólogo	Componente Ictiológico (2015)
Juan Pablo Londoño Velásquez	Biólogo. Esp. Manejo y Gestión del agua. U de A	Componente Ictiológico (2018)
Convenciones: TP: tarjeta profesional		

BIBLIOGRAFÍA

Aguilo. (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico.* Madrid: MOPT.

ANLA. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.* Santa Fe de Bogotá: ANLA.

Conesa, V. F. (1995). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.* Madric: Mundi Presa.

Cornare. (2017). *Términos de Referencia Estudio de Impacto Ambiental Construcción y Operación de Centrales Hidroeléctricas Generadoras TdR-014.* Santuario.

CORNARE-UdeA. (2011). *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) en los tramos receptores de vertimientos líquidos de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro y Nare.* El Santuario.

Dearman, W. R. (1991). *Engineering Geological Mapping. Butterworth– Heinemann.* Oxford.

Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Energy Suplay Situation in Colombia.*

EPM. (2012). *Metodología para la determinación de los caudales de garantía ambiental.* Medellín.

Etter. (1990). *ntroducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de integración para los levantamientos rurales. .* Bogotá: Instituto Geográfico Agustin Codazzi - IGAC.

Grecco, G. A. (2005). Metodología para la Determinación de los Caudales de Garantía Ambiental. 153-173.

IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua.*

IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rock. (2007). *A systematic nomenclature for metamorphic rocks. 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks.* Obtenido de www.bgs.ac.uk/SCMRH

Karr, J. R. (1981). Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities. *Fisheries, 6*(6), 21-27.

MinAmbiente & ANLA. (2018). *Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales.* Bogotá.

MinAmbiente & ANLA. (2018). *Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & ANLA. (2017). *Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA en proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de enrgía hidroeléctrica.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & ANLA. (2018). *Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales.* Bogotá.

Ramírez, A., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *Ciencia, Tecnología y Futuro, 1*(5), 89-99.

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro, 1*(3), 135-153. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Esc. 1:25.000.* Bogotá: Servicio Geológico Colombiano .

Soil Conservation Service. (1972). *National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture*.

Streckeisen, A. (1974). Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geologische Rundschau*, 773-786.

UNEP. (1992). *World Atlas of Desertification.*

Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). *Proyección Regional de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia.* Recuperado el Marzo de 2019

UPME. (2013). *Estudio de generación eléctrica bajo escenario de cambio climático.* Obtenido de http://www1.upme.gov.co/Documents/generacion_electrica_bajo_escenarios_cambio_climatico.pdf

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems.* Elsevier Science Publishing Co Inc.