DIAGNOSTICO AMBIENTAL ACUEDUCTO MORTIÑAL SECTOR LA ESCUELA

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN ACUEDUCTOS RURAL - MORTIÑAL SECTOR ESCUELA DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO – CONTRATO No 2025-06

CONTRATANTE:

EMPRESA DE RENOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE SOGAMOSO ERI SAS
NIT: 901.881.213-1

CONTRATISTA:

AQUACIVIL SAS BIC
NIT: 900.930.173-0

SUPERVISOR:

INGENIERO JULIAN URRUTIA

REPUBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ
MUNICIPIO DE SOGAMOSO
2025

INFORME FINAL

DIAGNOSTICO AMBIENTAL ACUEDUCTO MORTIÑAL SECTOR LA ESCUELA

CÓDIGO:
DPTAP 01

Cargo	Responsable	Firma
Firma Consultoría	**AQUACIVIL SAS BIC**	
Ingeniero Hidráulico	**EDGAR LEONARDO PRECIADO M.** Ingeniero Civil – Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental	
Supervisor del contrato	**INGENIERO JULIAN URRUTIA**	

EDGAR LEONARDO PRECIADO M.
Ingeniero Civil

CONTENIDO

1. Contexto del proyecto....4
2. Objetivos del Diagnóstico Ambiental....5
3. Descripción del proyecto....6
4. Descripción de la fuente abastecedora....7
5. Metodología del diagnostico....7
6. Contexto general del Diagnóstico Ambiental....8
6.1. Ubicación geográfica e hidrográfica....8
Codificación de la cuenca, subcuencas y microcuencas de la cuenca alta del río Chicamocha. 10
Caracterización de la red de drenaje....11
6.2. MORFOMETRÍA....13
Relieve de la cuenca....14
6.3. FAUNA....21
Caracterizar la diversidad biológica de las aves, anfibios, reptiles, mamíferos del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá....21
Avifauna 23
Herpetofauna 23
Mastofauna 24
Herpetofauna 31
Avifauna 31
Mastofauna 33
6.4. FLORA....36
Conectividad Ecológica....64
6.5. ECOSISTEMAS....68
6.6. COBERTURAS....69
6.7. NACIMIENTOS Y ZONAS PROTEGIDAS....72
6.8. GEOLOGÍA....75
6.8.1. Geología para ingeniería Cuenca Alta del Río Chicamocha....80
6.9. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA....82
6.10. HIDROGEOLOGÍA....84
Marco hidrogeológico regional:....84
6.11. INVENTARIO PUNTOS DE AGUA:....86
6.12. USOS DEL SUELO....88

6.13. SUELOS.....90
7 CLIMA.....97
Parámetros Climáticas Básicos.....98
RIO CHICAMOCHA.....102
7.1 ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA, IRH.....106
SUBCUENCA RÍO CHIQUITO.....109
8. DEMANDA HÍDRICA.....111
9. BALANCE HÍDRICO AMBIENTAL.....113
10. CONCLUSIONES.....114
11. BIBLIOGRAFÍA.....115

1. Contexto del proyecto

El presente documento contiene el diagnóstico ambiental del acueducto veredal El Mortiñal, ubicado en la vereda del mismo nombre en el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Este ejercicio técnico tiene como propósito evaluar las condiciones ambientales que inciden sobre la captación, conducción y uso del recurso hídrico en el sistema de abastecimiento, haciendo especial énfasis en la identificación de ecosistemas estratégicos y áreas protegidas que influyen directa o indirectamente en el ciclo de abastecimiento del acueducto.

La zona de influencia del acueducto El Mortiñal presenta características ambientales relevantes, con una posible relación con áreas de conservación y ecosistemas que cumplen funciones clave en la regulación hídrica, como páramos, bosques altoandinos o zonas de recarga. Por tanto, el diagnóstico contempla no solo la caracterización físico-biótica del entorno, sino también la ubicación y el análisis de figuras de protección ambiental como reservas forestales, parques naturales o áreas declaradas de interés ambiental que puedan coincidir o colindar con la fuente de captación del sistema.

La importancia de este enfoque radica en reconocer que la protección del recurso hídrico no puede abordarse de manera aislada de su contexto ecosistémico, los ecosistemas estratégicos, además de albergar biodiversidad, prestan servicios ambientales fundamentales como la regulación del caudal, la recarga de acuíferos y la filtración natural del agua. En consecuencia, el diagnóstico busca identificar posibles presiones, amenazas o conflictos de uso del suelo que comprometan la sostenibilidad de la fuente abastecedora, proponiendo medidas orientadas a su conservación y manejo adecuado.

Asimismo, se incluyen aspectos relacionados con la normatividad ambiental vigente, considerando lineamientos de autoridades competentes como CORPOBOYACÁ y los instrumentos de planificación territorial, con el fin de asegurar que el uso del agua se dé en armonía con los objetivos de protección ambiental establecidos para el territorio. La articulación con estos instrumentos permite además establecer criterios técnicos para una eventual zonificación ambiental y social que facilite acciones futuras de restauración, aislamiento o fortalecimiento comunitario.

Este documento busca ser una herramienta útil para la comunidad usuaria del acueducto, las autoridades locales y ambientales, y demás actores involucrados en la gestión del recurso hídrico, en aras de garantizar un uso eficiente, equitativo y ambientalmente responsable del agua. A partir de los hallazgos del diagnóstico, se podrán orientar procesos de mejora del sistema, estrategias de conservación del entorno natural y esquemas participativos de gestión, fundamentales para asegurar la permanencia y calidad del servicio de acueducto en el tiempo.

2. Objetivos del Diagnóstico Ambiental

El objetivo general del diagnóstico ambiental es establecer la situación actual del recurso hídrico asociado al acueducto veredal El Mortiñal, mediante el análisis de sus componentes físicos, bióticos y antrópicos, con el fin de identificar ecosistemas estratégicos, áreas protegidas, potencialidades, conflictos y restricciones que incidan sobre la captación, uso y conservación del agua en la vereda Mortiñal, municipio de Sogamoso.

Para ello, se caracterizarán las condiciones físicas del área de influencia del acueducto, considerando variables como la topografía, el clima, la geología, los suelos y la hidrología, que determinan la disponibilidad y calidad del recurso. Igualmente, se identificarán los ecosistemas estratégicos y áreas protegidas en la zona de captación y su entorno, evaluando su papel en la regulación hídrica y la provisión de servicios ecosistémicos clave.

El diagnóstico también incluye el análisis del componente biótico del territorio, con énfasis en la cobertura vegetal, las especies de flora y fauna presentes, y su relación con los procesos de conservación del agua. Así mismo, se evaluarán los factores antrópicos que inciden en la dinámica del sistema, como los usos del suelo, las actividades productivas y las prácticas comunitarias asociadas a la gestión del recurso.

Finalmente, se determinarán las principales potencialidades, conflictos y restricciones ambientales, como base para orientar acciones de manejo, estrategias de conservación y procesos de gestión sostenible que aseguren la funcionalidad y permanencia del acueducto en el largo plazo.

3. Descripción del proyecto

El acueducto El Mortiñal es un sistema comunitario de abastecimiento hídrico localizado en la vereda del mismo nombre, en jurisdicción del municipio de Sogamoso, Boyacá, su funcionamiento se basa en la captación de agua superficial proveniente de un nacimiento natural ubicado en una zona de ladera, cuyas características topográficas y vegetales favorecen una recarga hídrica constante y de buena calidad, la estructura de captación garantizará una recolección eficiente del recurso sin alterar significativamente el equilibrio del ecosistema asociado, permitiendo así un aprovechamiento sostenible del agua.

Una vez captada, el agua es conducida por gravedad a través de una línea de aducción cerrada, compuesta por tubería resistente a las condiciones del terreno, la cual minimiza pérdidas y reduce el riesgo de contaminación, esta conducción permite trasladar el recurso hacia tanques de almacenamiento ubicados estratégicamente para regular el flujo y facilitar su posterior distribución. El sistema ha sido adaptado a la dinámica rural de la zona, permitiendo que el suministro llegue de manera continua y segura a los usuarios, incluso en momentos de alta demanda.

La red de distribución se extiende desde los tanques de almacenamiento hacia las viviendas y espacios comunitarios de la vereda, respondiendo a criterios de eficiencia hidráulica y aprovechando la pendiente natural del terreno, esta red permite el acceso al recurso en condiciones apropiadas de calidad y cantidad, atendiendo las necesidades diarias de la población rural. La operación del

sistema considera un mantenimiento periódico y el control de presión para asegurar un servicio duradero y sin interrupciones.

En el contexto rural donde se inserta, el recurso hídrico captado cumple múltiples funciones fundamentales para el bienestar de la comunidad, además del consumo humano directo, el agua es utilizada para labores domésticas como la preparación de alimentos, el aseo personal y la limpieza del hogar, también tiene un papel importante en el soporte de actividades productivas tradicionales, como el abrevadero de animales de cría y el riego de cultivos menores, que constituyen parte del sustento de las familias campesinas. Asimismo, se abastecen algunos espacios comunales, como escuelas o salones de reunión, fortaleciendo el tejido social de la vereda.

Desde el punto de vista ambiental, el acueducto El Mortiñal representa una infraestructura de bajo impacto que exige una gestión cuidadosa del territorio para garantizar su sostenibilidad, la calidad y permanencia del recurso dependen directamente del estado de conservación de la subcuenca y del uso eficiente del agua, junto con la protección del entorno natural, los cuales son pilares clave para la permanencia del acueducto como solución viable de abastecimiento para las generaciones presentes y futuras.

4. Descripción de la fuente abastecedora

El nacimiento El Mortiñal constituye una fuente de agua superficial ubicada en la vereda El Mortiñal, jurisdicción del municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Se trata de un manantial natural de escorrentía difusa, emergente en un terreno de ladera con cobertura vegetal secundaria en proceso de regeneración, característico de los ecosistemas de piedemonte andino, su localización geográfica corresponde a un entorno rural de alta importancia hídrica, debido a su capacidad de ofrecer caudal constante a lo largo del año, incluso durante períodos de menor precipitación.

Desde el punto de vista físico, el nacimiento se ubica en una microcuenca que hace parte de la cuenca alta del río Chicamocha, en una zona caracterizada por formaciones geológicas sedimentarias, suelos de textura franca a franco-arenosa y pendientes suaves a moderadas, lo que favorece la infiltración y la recarga subterránea, la cobertura vegetal, aunque intervenida, mantiene funciones ecológicas relevantes, como la regulación hídrica, la protección del suelo contra la erosión y el mantenimiento de la humedad edáfica.

El flujo del nacimiento es de tipo perenne, con un caudal base modesto, pero suficiente para abastecer la demanda del acueducto veredal que toma su nombre, su calidad está estrechamente relacionada con el estado de conservación del entorno inmediato, por lo cual se recomienda restringir actividades agropecuarias intensivas, uso de agroquímicos y cambios drásticos en la cobertura vegetal.

5. Metodología del diagnostico

La metodología desarrollada para el diagnóstico ambiental del área de influencia del acueducto El Mortiñal se fundamenta en la revisión y análisis de información secundaria proveniente de fuentes oficiales, técnicas y académicas, con el propósito de caracterizar los componentes físico-bióticos y

socioambientales que inciden en la dinámica de la fuente abastecedora, lo cual permite establecer una línea base ambiental a partir del reconocimiento de las condiciones actuales del territorio, apoyado en datos validados y cartografía temática especializada.

La revisión bibliográfica incluyó documentos clave como el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Alta del río Chicamocha (POMCA), instrumento rector que orienta la planificación del recurso hídrico en la región y delimita unidades hidrográficas, zonas de manejo ambiental y áreas prioritarias para la conservación, a partir de este documento se identificó la ubicación hidrográfica del nacimiento El Mortiñal, dentro de la subzona hidrográfica correspondiente, lo que permitió comprender el contexto funcional del recurso dentro del sistema hídrico regional.

De forma complementaria, se consultó el Mapa de Ecosistemas Continentales y Marinos de Colombia (IGAC, 2007), a través del cual se identificaron los biomas presentes en la zona, específicamente el orobioma azonal y el orobioma del zonobioma húmedo tropical, lo que permitió precisar la clasificación ecológica del territorio, esta información fue articulada con la cartografía temática del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y los sistemas de información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), mediante los cuales se realizó el análisis de coberturas del suelo aplicando la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia.

Asimismo, se revisaron estudios ambientales previos, literatura académica regional, inventarios de biodiversidad y normativas vigentes en materia de protección de nacimientos y regulación del recurso hídrico en zonas rurales.

En conjunto, esta metodología bibliográfica y documental ha proporcionado insumos técnicos suficientes para el establecimiento de una línea base ambiental clara, que servirá como referencia para la formulación de medidas de manejo y conservación del recurso hídrico captado, y para orientar una gestión adecuada y sostenible del acueducto rural.

6. Contexto general del Diagnóstico Ambiental

6.1. Ubicación geográfica e hidrográfica.

El punto de captación del acueducto veredal El Mortiñal se encuentra en la vereda del mismo nombre, en jurisdicción del municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Está ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, dentro de un entorno de montaña media, con pendientes moderadas a fuertes y un relieve caracterizado por laderas estructurales y formas erosionales.

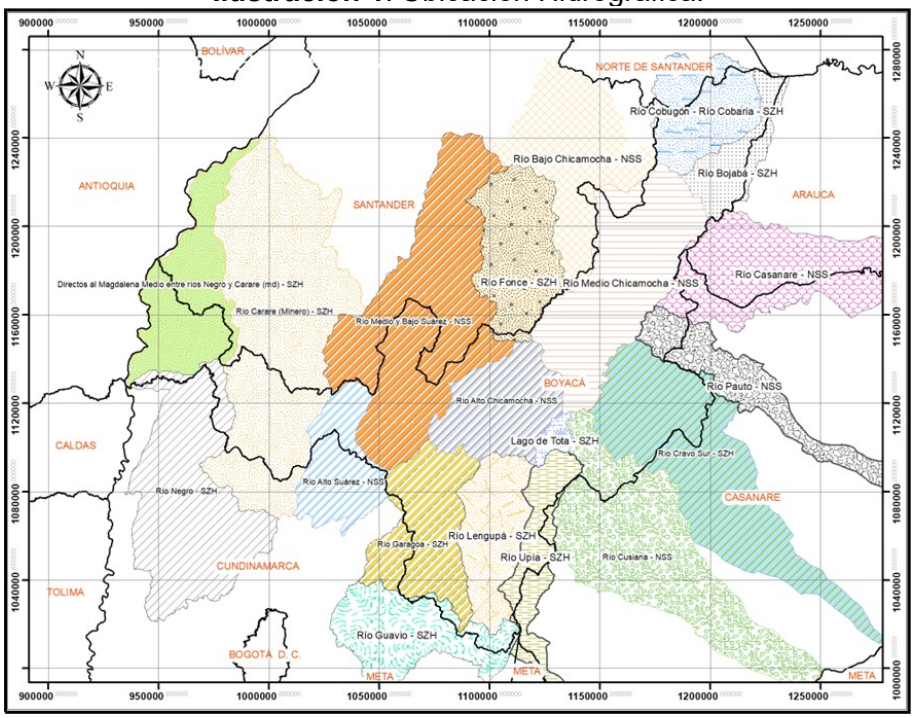
Se sitúa entre los 2.900 y 3.200 metros sobre el nivel del mar, en una zona de transición entre el bosque altoandino y el ecosistema de páramo, lo que le confiere un papel estratégico en la regulación hídrica. El área presenta laderas de pendiente variable, drenadas por pequeñas corrientes de agua permanentes e intermitentes que conforman microcuencas clave para el abastecimiento local.

La fuente de captación es superficial, proveniente de nacimiento de agua, localizada en zonas con alta cobertura vegetal y suelos ricos en materia orgánica. Estos suelos, mayoritariamente andisoles e inceptisoles, poseen alta capacidad de infiltración y retención, favoreciendo la recarga de acuíferos y la estabilidad del caudal base (IGAC, 2020). Por sus condiciones fisiográficas, el punto de captación cumple una función esencial en el suministro de agua para la comunidad, aunque también presenta vulnerabilidad frente a la erosión, el cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura en ecosistemas sensibles como el páramo.

Desde el enfoque hidrográfico, la captación se encuentra clasificada bajo el esquema jerárquico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que permite una planificación territorial integral basada en unidades hidrográficas, corresponde al Área hidrográfica Magdalena-Cauca, una de las más importantes del país por su extensión y por concentrar buena parte de las aguas superficiales andinas, utilizadas para consumo humano, agricultura, industria y generación de energía.

Dentro de esta área, el punto de interés se localiza en la zona hidrográfica del río Sogamoso, la cual recoge los drenajes provenientes de los altiplanos boyacense y santandereano, desempeñando un papel clave como eje de integración entre los ecosistemas altoandinos y la región del Magdalena Medio. A su vez, pertenece a la subzona hidrográfica del río Chicamocha, conformada por diversas subcuencas de origen montañoso que son esenciales tanto para el abastecimiento hídrico como para la conectividad ecológica del territorio. En este marco, la localización corresponde a la cuenca alta y media del río Chicamocha, una unidad caracterizada por una red densa de afluentes andinos y una dinámica hídrica compleja, acentuada durante los periodos de lluvia.

Ilustración 1. Ubicación Hidrográfica.

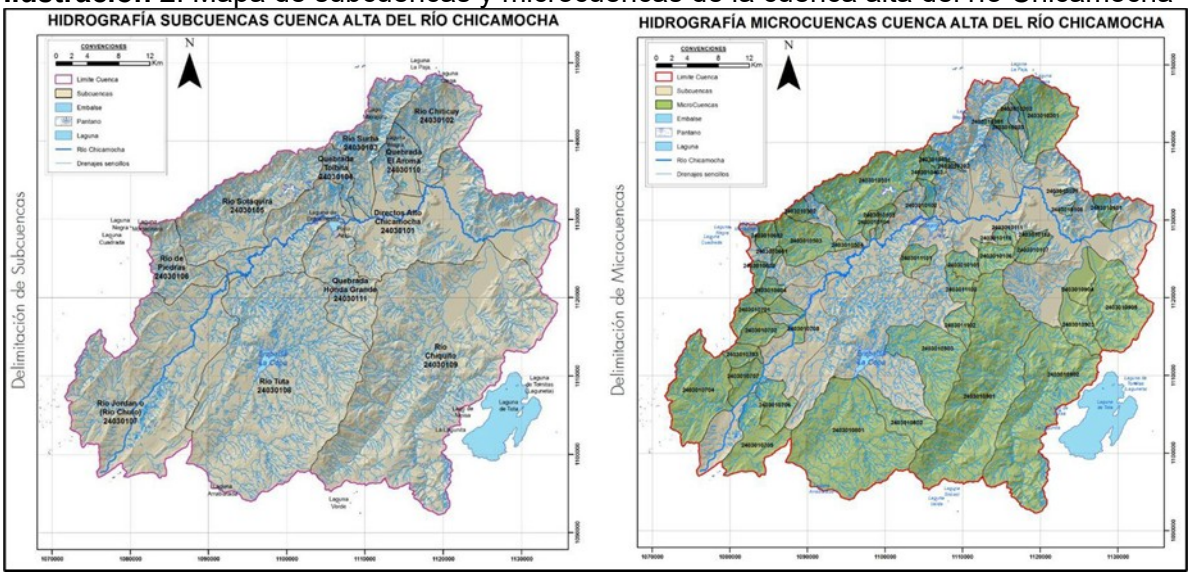


Fuente. Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS. (s.f.). Visor geográfico institucional: POMCA río Sogamoso. SIG Portal. https://sig-portal.cas.gov.co/portal/home/webmap/viewer.html?webmap=9f6d3129380042efb3fd890a9b291c2e

De acuerdo con lo establecido en el POMCA del río Alto Chicamocha, el área de la cuenca presentaba inicialmente una extensión de 2.148,006 km², tras el ajuste de la línea divisoria, esta superficie se redujo a 2.147,704 km², lo que representa una disminución de 0,302 km². Asimismo, el perímetro de la cuenca se vio afectado por dicha corrección. Inicialmente era de 261,01 km, y tras el ajuste alcanzó los 262,402 km, evidenciando un aumento de 1,392 km en su longitud.

En el contexto del ordenamiento hídrico, la cuenca alta del río Chicamocha se subdivide en 11 subcuencas y 46 microcuencas, las cuales cumplen una función estratégica como fuentes abastecedoras de agua para centros poblados y urbanos dentro de su área de influencia.

Ilustración 2. Mapa de subcuencas y microcuencas de la cuenca alta del río Chicamocha



Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 355.

Se establece que la captación se encuentra dentro de la subcuenca del río Chiquito, un sistema de orden medio que drena zonas agrícolas y relictos de bosque altoandino, esta subcuenca reviste importancia estratégica por su contribución a la oferta hídrica regional y por su alta sensibilidad frente a procesos de deforestación, erosión y cambio en el uso del suelo, que comprometen su funcionalidad hidrológica y ecológica.

Codificación de la cuenca, subcuencas y microcuencas de la cuenca alta del río Chicamocha.

De acuerdo con la clasificación realizada anteriormente y la metodología establecida por el IDEAM, se presenta la codificación establecida para la subcuenca de interés. Los primeros cuatro (4) dígitos corresponden a la zonificación hidrográfica nacional la cual es establecida por (IDEAM, 2013). El

primer dígito corresponde al área hidrográfica (2 para Magdalena Cauca), el segundo dígito hace referencia a la zona hidrográfica (4 para el río Sogamoso), el tercer y cuarto dígito se refieren a la subzona hidrográfica (03 para el río Chicamocha); finalmente los dígitos quinto y sexto son dados por (Corpoboyacá, 2014) y hacen referencia a la cuenca alta del río Chicamocha.

En el mismo orden de ideas se presentan los códigos establecidos para para las unidades de Nivel II; subcuencas y las 46 unidades de Nivel III; específicamente microcuencas abastecedoras.

Ilustración 3. Codificación de las subcuencas de la cuenca alta del río Chicamocha.

Código					Nombre				
Llave Primaria			Llave Foránea						
Nivel			1	2	Nivel			1	2
2	4	3	1	01	Magdalena Cauca	Río Sogamoso	Río Chicamocha	Alto Chicamocha	Directos Alto Chicamocha
2	4	3	1	02					Río Chiticuy
2	4	3	1	03					Río Surba
2	4	3	1	04					Quebrada Toibita
2	4	3	1	05					Río Sotaquirá
2	4	3	1	06					Río de piedras
2	4	3	1	07					Río Jordán
2	4	3	1	08					Río Tuta
2	4	3	1	09					Río Chiquito
2	4	3	1	10					Quebrada El Aroma
2	4	3	1	11					Quebrada Honda Grande

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 357.

Ilustración 4. Codificación de las microcuencas abastecedoras de la cuenca alta del río Chicamocha.

Código						Nombre			
Llave primaria			Llave foránea						
Nivel u.h.			1	2	3	Nivel u.h.	1	2	3
2	4	03	01	08	01			Río Tuta	río Cormichoque
2	4	03	01	08	02			Río Tuta	río Toca
2	4	03	01	08	03			Río Tuta	río Chorrera
2	4	03	01	09	01			Río Chiquito	Río Pesca
2	4	03	01	09	02			Río Chiquito	Río Tota
2	4	03	01	09	03			Río Chiquito	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)
2	4	03	01	09	04			Río Chiquito	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)
2	4	03	01	09	05			Río Chiquito	Río Monquirá
2	4	03	01	11	01			Quebrada Honda Grande	quebrada Canocas
2	4	03	01	11	02			Quebrada Honda Grande	Quebrada Honda Grande_Nacimiento
2	4	03	01	11	03			Quebrada Honda Grande	Quebrada Agua Tibia

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 359.

Caracterización de la red de drenaje

La cuenca alta del río Chicamocha cuenta con un sistema de drenaje conformado por cuerpos de agua lóticos, como el cauce principal y sus afluentes, así como cuerpos lénticos, entre los que se incluyen lagunas y embalses. Su extensión total es de 2.147,70 km², y la red de drenaje alcanza una longitud aproximada de 4.709,30 km, lo que representa una densidad de drenaje de 0,0219 m/m²; es decir, existen en promedio 0,0219 metros lineales de cauces por cada metro cuadrado de superficie. De acuerdo con su grado de ramificación, la cuenca se clasifica como de orden siete, lo que indica una estructura hidrológica compleja y bien desarrollada.

En términos de morfología, predominan dos patrones de drenaje: el dendrítico, característico de las zonas altas, donde la erosión actúa de manera uniforme sin influencias estructurales marcadas; y el enrejado, presente en sectores de menor altitud, donde la disposición de los cauces refleja un control estructural más fuerte, posiblemente asociado a la presencia de rocas fracturadas con orientación paralela. Adicionalmente, los cauces presentan una configuración meándrica, con trayectorias sinuosas formadas por curvas alternas conectadas mediante tramos rectos, lo que evidencia una dinámica fluvial activa en respuesta a los gradientes topográficos y a las condiciones del sustrato geológico.

En lo que respecta a las subcuencas y microcuencas, las principales características morfométricas y funcionales de la red de drenaje se sintetizan en las siguientes figuras tomada del POMCA del río Alto Chicamocha, dicha información se complementa con la descripción detallada de los patrones de drenaje identificados para cada una de estas unidades, los cuales fueron establecidos con base en la observación e interpretación del mapa de subcuencas y microcuencas abastecedoras.

Ilustración 5. Descripción del patrón del drenaje por subcuenca.

Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Descripción del patrón de drenaje
		del cauce principal muestran alto grado de ramificación, estableciéndose para estos un patrón de drenaje de tipo dendrítico.
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	La cuenca presenta un alto grado de bifurcación y ramificación con similitud a las ramas de un árbol, de lo cual se establece que en general posee un patrón de drenaje dendrítico, pero con presencia de lagunas mostrando en algunos sectores un patrón de drenaje multicharca.
24030108	Río Tuta	Se identifica en gran parte de la unidad, la bifurcación de la red con similitud a la forma de un árbol , estableciendo un patrón de drenaje de tipo dendrítico, pero en algunos sectores los cauces poseen una estructura de patrón enrejado con cauces cortos que entran perpendicularmente a su efluente.
24030109	Río Chiquito	Los cauces tributarios en la parte alta presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico, dichos cauces entran de forma perpendicular a un cauce central generando un patrón de drenaje de tipo enrejado.
24030110	Quebrada El Aroma	Los cauces de nivel subsiguiente se muestran alargados y prolongados, generando un patrón de drenaje de tipo paralelo.
24030111	Quebrada Honda Grande	Se aprecia un grado de bifurcación, a partir de lo cual se establece que posee un patrón de drenaje de tipo dendrítico.

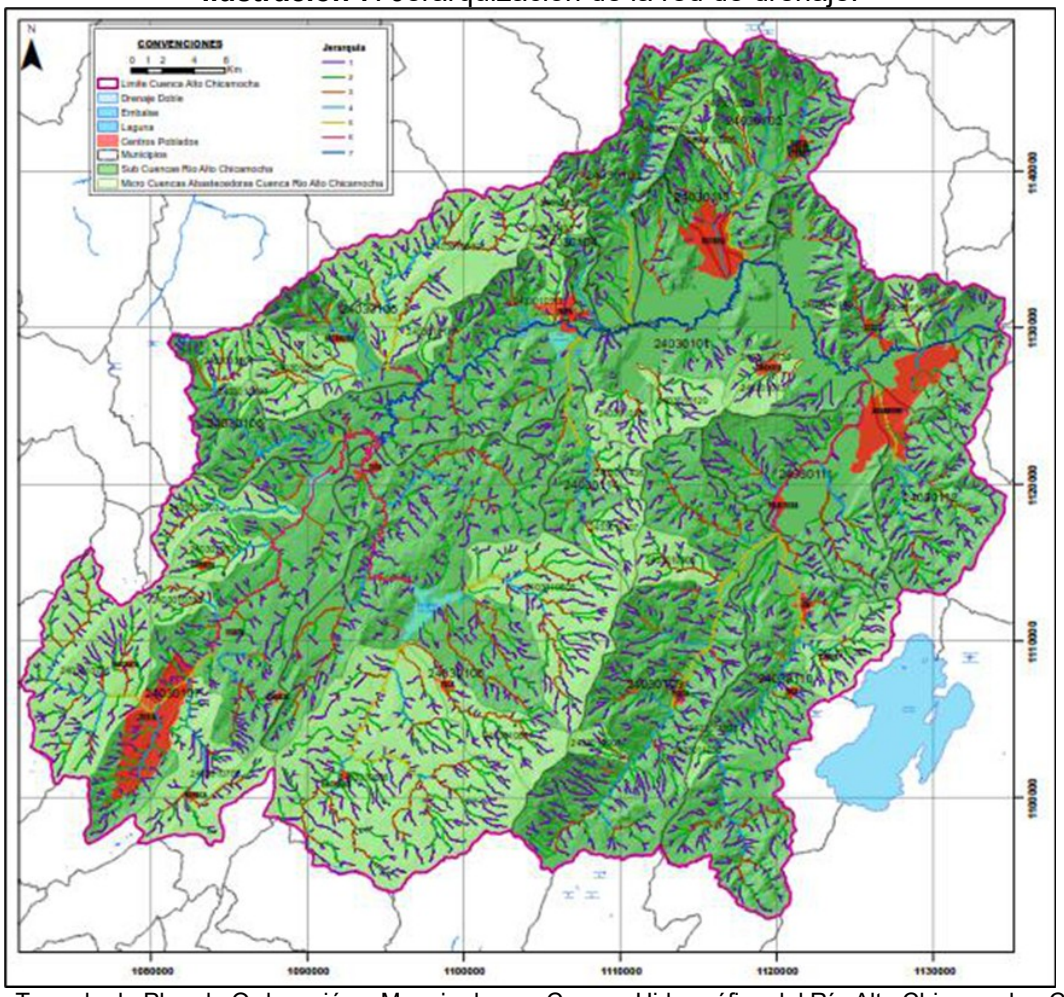
Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 360.

Ilustración 6. Descripción del patrón del drenaje por microcuencas de interés.

Código microcuenca	Nombre microcuenca	Descripción del patrón de drenaje
2403011101	quebrada Canocas	Zonas altas: Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente. Zonas bajas: Se evidencia un comportamiento rectangular en el cual se observa la llegada de los cauces al río principal de la unidad estudiada con ángulos de 90° aproximadamente y longitudes significativas.
2403010905	Río Monquirá	Zonas altas: Los cauces tienen un comportamiento paralelo debido a la presencia de pendientes fuertes en dicha zona o la posible existencia de materiales con baja permeabilidad. Zonas bajas: Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 365.

Ilustración 7. Jerarquización de la red de drenaje.



Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 365.

6.2. MORFOMETRÍA

La cuenca alta del río Chicamocha abarca un área de 2.147,704 km² (equivalente a 214.770,425 hectáreas) y presenta un perímetro total de 262,402 km. En lo que respecta a las unidades hidrográficas de nivel II (subcuencas) y nivel III (microcuencas), a continuación, se presenta un resumen específico del área y perímetro de aquellas unidades que están directamente relacionadas con la caracterización del nacimiento Mortiñal sobre la subcuenca del río Chiquito y microcuenca del río Monquirá, tributarios clave dentro del sistema de drenaje de la cuenca.

Ilustración 8. Área y perímetro de la subcuenca y microcuenca de interés

Código	Nombre	Área		Perímetro
		km2	ha	(km)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)				
240301	Cuenca alta del Río Chicamocha	2147.704	214770.425	262.402
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)				
24030101	Directos Alto Chicamocha	366.077	36607.700	167.616
24030102	Río Chiticuy	82.028	8202.830	43.750
24030103	Río Surba	72.905	7290.531	53.972
24030104	Quebrada Toibita	19.263	1926.328	27.266
24030105	Río Sotaquirá	140.287	14028.708	59.833
24030106	Río de Piedras	54.818	5481.800	41.353
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	318.172	31817.220	100.249
24030108	Río Tuta	445.411	44541.137	95.561
24030109	Río Chiquito	539.059	53905.853	124.798
24030110	Quebrada El Aroma	28.301	2830.062	26.367
24030111	Quebrada Honda Grande	81.383	8138.255	49.221
2403010905	Río Monquirá	71.172	7117.181	38.902

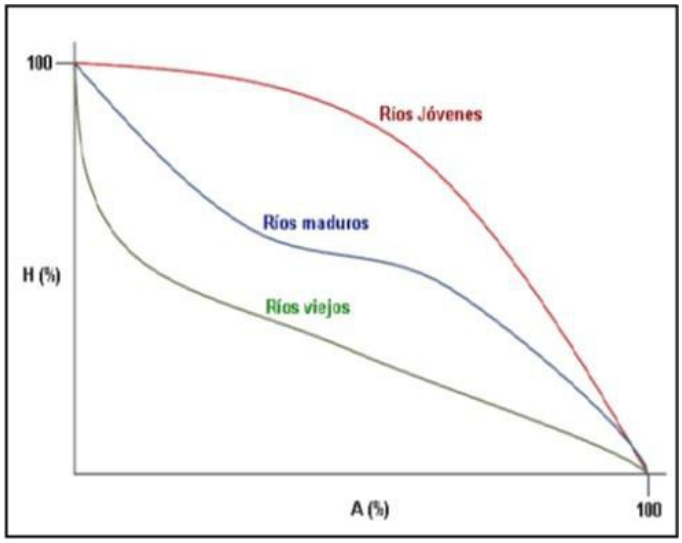
Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 370.

Relieve de la cuenca

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación del relieve de la cuenca hidrográfica, donde se identifica la variación del terreno de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación se presenta por medio de un gráfico que representa el porcentaje de áreas de drenaje que existen por encima o por debajo de un nivel específico, las ordenadas de dicha gráfica corresponden a la elevación o cota, mientras que las abscisas representan el porcentaje de área acumulada de la cuenca hidrográfica.

Ilustración 9. Curva hipsométrica



Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 372.

A partir del análisis de la curva hipsométrica se obtiene la relación hipsométrica (Rh), la cual corresponde a la relación entre el área sobre la curva (Ss) y el área bajo la curva (Si). Tanto el comportamiento de la curva hipsométrica, como el valor de la relación hipsométrica permiten clasificar la cuenca hidrográfica en función de su capacidad de transportar materiales y edad de la cuenca.

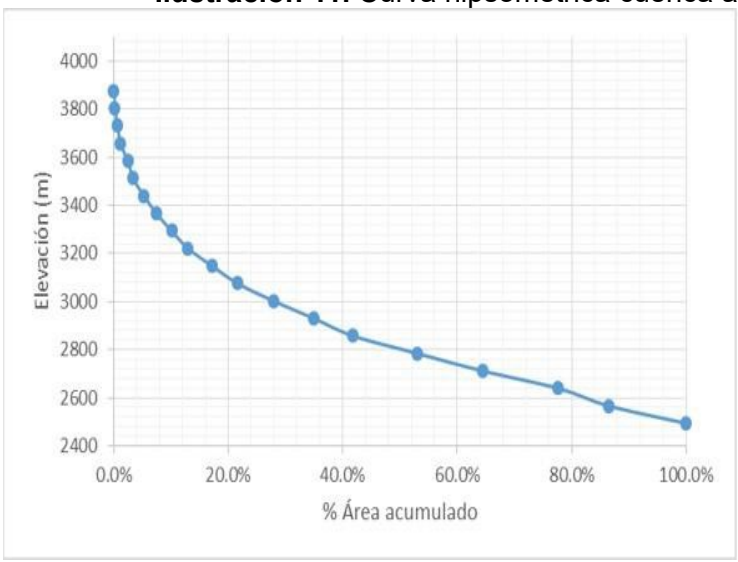
Ilustración 10. Descripción de la relación hipsométrica.

Relación hipsométrica (Rh)	Edad	Tipo de cuenca
Rh > 1.0	Viejo	Se considera como una cuenca de valle que deposita sedimentos.
Rh = 1.0	Maduro	Se considera como una cuenca intermedia y cuya función es transportar sedimentos.
Rh < 1.0	Joven	Este tipo de cuencas se consideran como cuencas de montaña altamente erosivas.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 372.

Para los niveles I y II de unidad hidrográfica de interés, se presenta la curva hipsométrica correspondiente, la cual permite analizar la distribución relativa del área y la altitud en la cuenca. Es importante señalar que los valores de área sobre la curva (Ss) y área bajo la curva (Si) se obtienen de forma gráfica, trazando cada una de las curvas hipsométricas desarrolladas en este análisis. En términos generales, los resultados obtenidos indican que la cuenca alta del río Chicamocha presenta un comportamiento morfométrico propio de un sistema fluvial maduro o viejo, lo cual refleja una marcada tendencia al transporte de sedimentos desde las zonas altas, con procesos erosivos dominantes, hacia las zonas bajas donde se favorece la deposición. Esta condición geomorfológica sugiere un sistema en equilibrio, con baja pendiente en los tramos inferiores y un alto grado de modelación del relieve por acción fluvial a lo largo del tiempo.

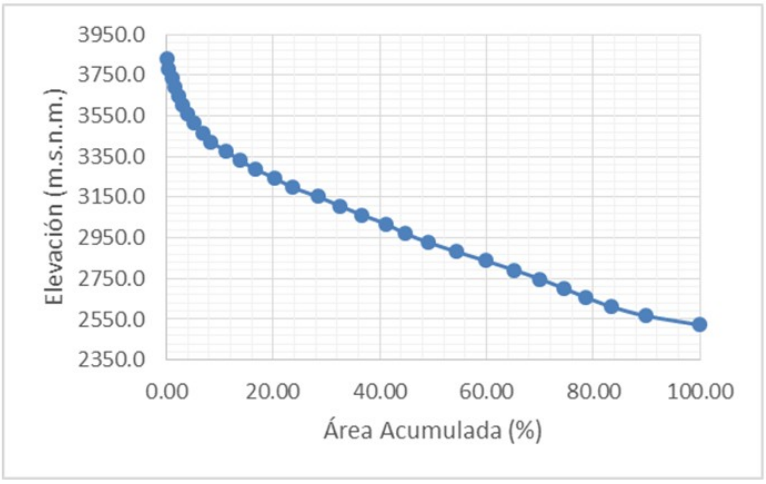
Ilustración 11. Curva hipsométrica cuenca alta del río Chicamocha



Ss= 999.255
Si= 384.905
Rh= 2.60
Descripción: río viejo. Cuenca de valle que deposita sedimentos.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 374.

Ilustración 12. Curva hipsométrica río Chiquito



Ss= 86516.39
Si= 43913.16
Rh= 2.0
Descripción= Río viejo. Cuenca de valle que deposita sedimentos.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 375.

Elevación Media y pendiente de la cuenca

La cuenca alta del río Chicamocha presenta una elevación media que permite caracterizar su altitud con respecto al nivel del mar, y una pendiente media que influye directamente en la velocidad del escurrimiento superficial y en el tiempo de concentración de las aguas hacia la red de drenaje, estos parámetros, evaluados para los niveles I, II y III de unidades hidrográficas, permiten comprender la dinámica hidrológica y morfológica del territorio. Los valores obtenidos para los niveles de interés se presentan a continuación:

Ilustración 13. Elevación media y pendiente media cuenca alta del río Chicamocha.

Código	Nombre	Elevación media (m.s.n.m.)	Pendiente media (%)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)			
240301	Cuenca alta del Rio Chicamocha	2873.5	17.4
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)			
24030101	Directos Alto Chicamocha	2633.7	16.5
24030102	Rio Chiticuy	3025.0	23.1
24030103	Rio Surba	3186.1	31.8
24030104	Quebrada Toibita	2941.2	32.3
24030105	Rio Sotaquirá	2930.9	22.9
24030106	Rio de Piedras	2957.8	22.4
24030107	Rio Jordán o (Rio Jordán)	2855.6	13.3
24030108	Rio Tuta	2933.3	12.6
24030109	Rio Chiquito	2937.3	19.6
24030110	Quebrada El Aroma	2717.2	17.6
24030111	Quebrada Honda Grande	2722.1	13.8
Nivel III (Microcuencas hidrográficas)			
2403010905	Río Monquirá	2971.30	23.97

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 378

Forma de la cuenca:

Longitud axial y ancho máximo de la cuenca

La cuenca alta del río Chicamocha presenta una longitud axial de 87,15 km, medida de forma aproximadamente paralela al cauce principal desde su desembocadura hasta el punto más alto dentro de sus límites. Su ancho máximo es de 53,37 km, determinado en sentido transversal mediante una línea perpendicular al cauce principal que conecta los puntos más extremos de la cuenca.

Factor de forma de Horton (kf)

El factor de forma de Horton es una medida que relaciona el ancho medio de una cuenca con su longitud axial, permitiendo comparar la forma de diferentes cuencas hidrográficas, Un valor bajo de este factor indica una menor susceptibilidad a presentar crecientes máximos, incluso si otras cuencas tienen áreas similares. En el caso de la cuenca alta del río Chicamocha, el valor calculado es de 0,28, lo cual sugiere que se trata de una cuenca alargada con baja propensión a inundaciones súbitas.

A continuación, se presentan los valores de longitud axial, ancho máximo de la cuenca y factor de forma para la subcuenca del rio Chiquito y la microcuenca del rio Monquirá.

Ilustración 14. Longitud axial, ancho máximo y factor de forma de Horton cuenca alta del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Área (km^2)	Perímetro (km)	Longitud Axial (km)	Ancho máximo de la cuenca (km)	Factor de forma de Horton (kf)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)							
I	240301	Alto Chicamocha	2147.70	262.40	87.15	53.37	0.28
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)							
II	24030109	Río Chiquito	539.06	124.80	38.06	14.16	0.37
III	2403010905	Río Monquirá	71.172	38.902	13.878	5.128	0.37

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 380

Coeficiente de compacidad (kc)

El coeficiente de compacidad es un indicador morfométrico que relaciona el perímetro de la cuenca con el de una circunferencia que tendría la misma área. Un valor cercano a 1,0 indica una forma circular, lo que generalmente implica una mayor susceptibilidad a crecientes súbitas. En contraste, valores más altos reflejan formas alargadas o irregulares. Para la cuenca alta del río Chicamocha, se obtuvo un coeficiente de compacidad de 1,60, lo que indica una forma oval-oblonga y, en consecuencia, una baja probabilidad de que se presenten crecientes máximos.

Índice de alargamiento (Ia)

El índice de alargamiento es un parámetro morfométrico que permite evaluar la forma de la cuenca en relación con su longitud axial y su ancho promedio, este índice, propuesto por Horton, se calcula dividiendo la longitud axial de la cuenca entre su ancho medio, y permite inferir el comportamiento del flujo de agua dentro del sistema de drenaje. En función de su valor, se puede clasificar la cuenca como poco, moderadamente o muy alargada, para la cuenca alta del río Chicamocha, este índice ayuda a determinar si la respuesta hidrológica será rápida o lenta y el posible impacto erosivo del escurrimiento superficial.

El valor obtenido corresponde a 1.63, lo que la clasifica como moderadamente alargada. Esta morfología sugiere una respuesta hidrológica intermedia, donde la escorrentía superficial no se concentra de manera inmediata, reduciendo en parte el riesgo de crecientes súbitas.

La subcuenca del río Chiquito presenta un coeficiente de compacidad de 1.52, lo que indica una forma oval-oblonga a rectangular oblonga, mientras que su índice de alargamiento de 2.69 permite clasificarla como moderadamente alargada, reflejando una respuesta hidrológica intermedia. Por su parte, la microcuenca del río Monquirá, con un coeficiente de compacidad de 1.30, muestra una forma oval redonda a oval oblonga y un índice de alargamiento de 2.71 que la ubica en la categoría de moderadamente alargada, lo que sugiere una menor probabilidad de concentraciones rápidas de escorrentía y, por tanto, un menor riesgo de eventos extremos asociados a crecientes súbitas.

Índice Asimétrico

El índice de asimetría de la cuenca alta del río Chicamocha permite evaluar la influencia de la actividad tectónica en su forma y red de drenaje, valores cercanos al 50 % indican baja influencia

tectónica, mientras que desviaciones significativas reflejan mayor afectación y posible basculamiento de la cuenca. Este análisis es clave para entender la evolución morfológica, especialmente en unidades hidrográficas que abastecen centros poblados.

Ilustración 15. Índice de asimetría de la cuenca alta del río Chicamocha, subcuenca Rio Chiquito y Microcuenca Rio Monquirá

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Índice de Asimetría				
			A_D	A_T	AF_D	AF_t	Descripción
Nivel I (Cuenca hidrográfica)							
I	240301	Alto Chicamocha	762.25	1385.45	35.49	64.51	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
Nivel II (subcuencas hidrográfica)							
II	24030109	Río Chiquito	190.14	348.92	35.27	64.73	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
Nivel III (Microcuencas hidrográfica)							
III	2403010905	Río Monquirá	30.884	40.288	43.4	56.6	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 388

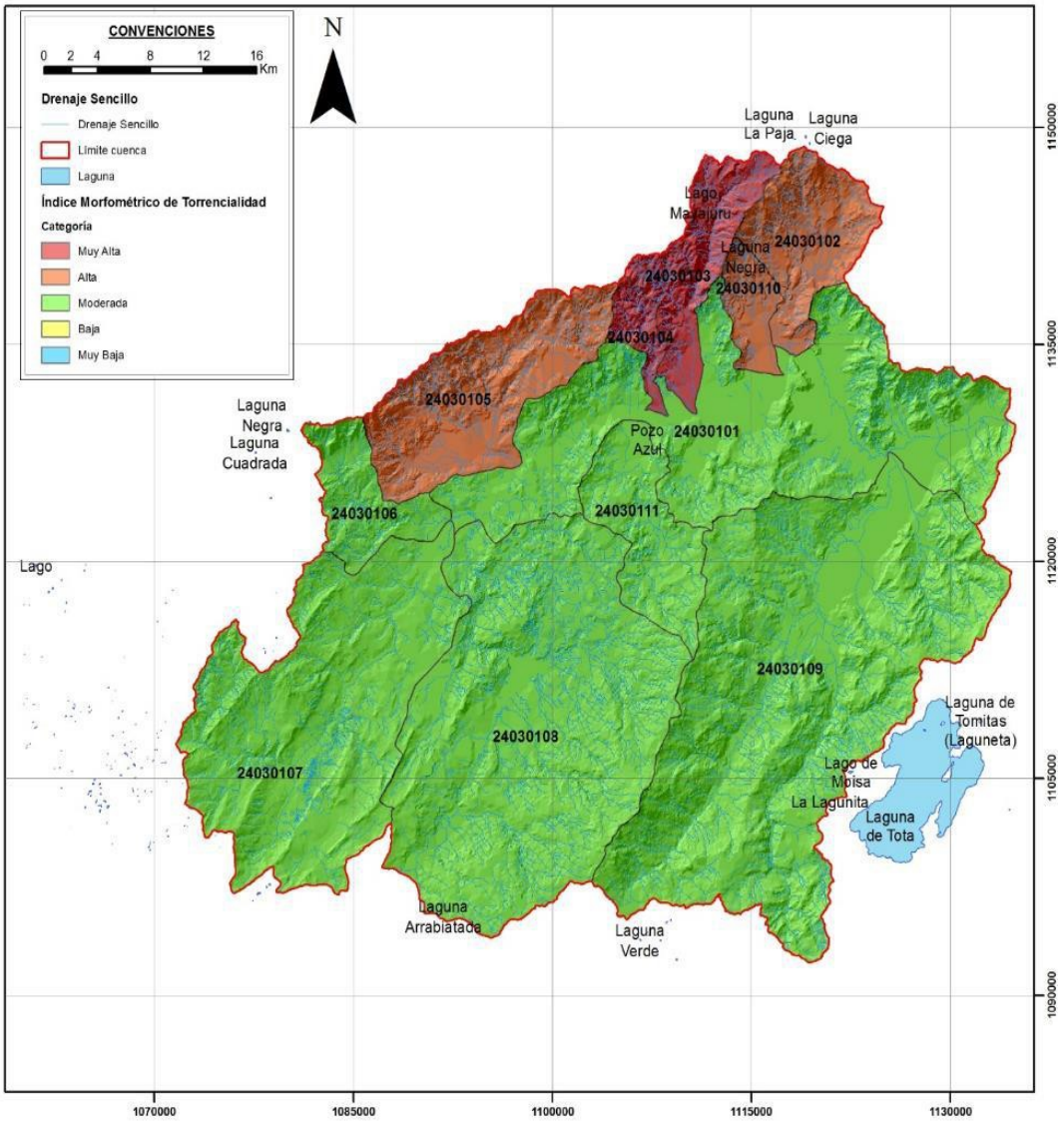
Tiempo de concentración:

El tiempo de concentración corresponde al lapso que tarda una gota de agua en escurrir desde el punto más alejado de la cuenca hasta su salida. Para la cuenca alta del río Chicamocha, y de acuerdo con el POMCA, se estimó un valor representativo de 8,46 horas (507,7 minutos) mediante un análisis estadístico que excluyó los valores atípicos con base en la desviación estándar. En cuanto a sus unidades hidrográficas, el tiempo de concentración estimado para la subcuenca del río Chiquito fue de 5,14 horas, mientras que para la microcuenca del río Monquirá fue de 3,15 horas, reflejando diferencias en la respuesta hidrológica entre las unidades de análisis.

Índice Morfométrico de torrencialidad

El índice morfométrico de torrencialidad permite evaluar la susceptibilidad de una cuenca a la ocurrencia de eventos torrenciales frente a precipitaciones intensas, a partir de la relación entre la densidad de drenaje, la pendiente media y el coeficiente de compacidad, estos parámetros, al combinarse, determinan la capacidad de la cuenca para generar y concentrar escorrentía, así como la rapidez y eficiencia con la que se movilizan el agua y los sedimentos. Según el POMCA, este índice constituye un insumo clave para calcular el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales y se encuentra aplicado a nivel de subcuencas en la cuenca alta del río Chicamocha.

Ilustración 16. Categorías del índice morfométrico de torrencialidad en las subcuencas de la cuenca alta



Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 395

Ilustración 17. Categorías del índice morfométrico de torrencialidad.

Código u.h.	Nombre U.H.	Categoría índice morfométrico.
240301	Alto Chicamocha	Moderada
24030101	Directos Alto Chicamocha	Moderada
24030102	Río Chiticuy	Alta
24030103	Río Surba	Muy Alta
24030104	Quebrada Toibita	Muy Alta
24030105	Río Sotaquirá	Alta
24030106	Río de Piedras	Moderada
24030107	Río Jordán	Moderada
24030108	Río Tuta	Moderada
24030109	Río Chiquito	Moderada
24030110	Quebrada El Aroma	Alta
24030111	Quebrada Honda Grande	Moderada

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 396

6.3. FAUNA

Para este Ítem se tomó como referencia La actualización Ambiental del Parque Natural Regional Unidad Biogeográfica Siscunsí Ocetá, realizado por Corpoboyacá, el cual para Para el desarrollo del componente de Fauna tuvo en cuenta la siguiente información y los siguientes objetivos a tener en cuenta durante el trabajo de campo:

Caracterizar la diversidad biológica de las aves, anfibios, reptiles, mamíferos del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.

Evaluar a partir de la diversidad encontrada los grupos biológicos encontrados en la zona.

Georreferenciar la diversidad biológica hallada en el área de estudio.

MÉTODOS

Recopilación de información secundaria

Se realizó una consulta de la base de datos del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB) del Instituto Alexander von Humboldt (www.sibcolombia.net). Se incluye en esta consulta la superficie total de los municipios de Aquitania, Mongua, Monguí y Sogamoso, ya que el sistema no permite una búsqueda por veredas o polígonos definidos por el usuario.

Selección de parcelas

Las coberturas empleadas para el establecimiento de las parcelas de vegetación se tomaron del Mapa de Cobertura y uso actual de la tierra. Se seleccionaron coberturas naturales o que tuvieran elementos naturales de forma parcial. Lo anterior considerando que las coberturas transformadas no presentan elementos de la biodiversidad nativa de las áreas de estudio y por lo tanto no deben ser

consideradas para realizar muestreos. No se incluyeron las coberturas relacionadas con actividades antrópicas, tales como mosaicos de pastos y cultivos, por considerar que no aportan elementos de la biodiversidad que deban ser conservados.

El PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá presenta cuatro coberturas que cumplen estas características: bosque denso alto de tierra firme, bosque denso bajo de tierra firme, herbazal denso de tierra firme con arbustos (páramo) y arbustal abierto. Sin embargo, el bosque denso bajo de tierra firme y el arbustal abierto suman superficies menores al 1%, por los cual no fueron incluidas en el muestreo y se aumentó el número de puntos de las otras dos coberturas naturales. De esta forma, se establecieron cuatro parcelas en el bosque denso alto de tierra firme y cuatro en el herbazal denso de tierra firme con arbustos. La localización de las parcelas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de las parcelas de vegetación en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá

Cobertura	Estes	Nortes
Bosque denso alto de tierra firme 1	1142935	1123820
Bosque denso alto de tierra firme 2	1148567	1099173
Bosque denso alto de tierra firme 3	1143512	1108308
Bosque denso alto de tierra firme 4	1138186	1121018
Herbazal denso de tierra firme con arbustos 1	1135547	1110274
Herbazal denso de tierra firme con arbustos 2	1148864	1104661
Herbazal denso de tierra firme con arbustos 3	1144096	1124500
Herbazal denso de tierra firme con arbustos 4	1149320	1127220

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Métodos por grupo taxonómico

Los métodos utilizados para cada uno de los grupos estudiados son diferentes y se desarrollan en diferentes horarios. Cada individuo de cada grupo taxonómico fue registrado en un formato especial donde se consignaron datos como: número de individuo, especie, medidas, sustrato donde fue encontrado, tipo de cobertura, lugar de avistamiento, hábito, fotografía si fue posible, número de la fotografía y observaciones. Para complementar la información obtenida directamente en campo se realizaron entrevistas no estructuradas a los habitantes de la zona para conocer posibles avistamientos, relaciones y conflictos existentes entre la fauna y la población perteneciente a las áreas de muestreo.

Posteriormente se identificaron las especies que presentan alguna categoría de amenaza con base en los apéndices I, II y III del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES); también mediante las listas rojas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) se complementó la información de las especies con un grado de peligro a nivel internacional. A nivel nacional, se utilizó la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la cual se declaran las especies silvestres que se

encuentran con un estado de amenaza a nivel en el territorio nacional. Finalmente, se identificaron las especies endémicas y con una distribución restringida en las diferentes áreas de muestreo. Se recurrió a estos listados para determinar cuántas especies en peligro o amenaza habitan las coberturas evaluadas y las medidas de protección que se deben implementar en función del hábitat para la fauna.

El inventario de la fauna en el área de estudio se llevó a cabo de acuerdo con el "Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad" (Villarreal et al., 2006).

Avifauna

Captura: Esta metodología es la más utilizada, pues permite que el investigador pueda observar detenidamente las estructuras o características específicas de cada individuo capturado como: tamaño, color, forma del pico, cola y patas entre otras y así poder hacer la determinación taxonómica a especie. Esté método se utiliza en especies que sea difícil la observación visual directa y que no responden a cebos. En cada cobertura vegetal se instalaron dos redes de niebla de doce metros de longitud entre las 5:00 - 10:00 horas y entre 16:00 y las 18:00 h. Los datos colectados de los diferentes individuos capturados se procesaron posteriormente por medio de bibliografía que permitiera determinarlos hasta especie.

Observación directa o captura visual: Esta metodología se realiza con la ayuda de binoculares de 10 X 40 mm. Se tienen en cuenta los recorridos y senderos utilizados tipos de hábitat, bosques, actividad etc. Los recorridos fueron cronometrados y georreferenciados para establecer parámetros necesarios para una posterior evaluación. Si el registro de los individuos fue visual con ayuda de los binoculares, el observador detalló cada característica necesaria para su identificación.

Los datos que se tuvieron en cuenta son: altura, distancia entre el individuo avistado y el observador. Las actividades comportamentales como: alimentación, percha, reproducción entre otras, uso del hábitat (arborícola, arbustivo, terrestre, etc.) y tipo de alimentación (insectos, vertebrados, etc.). Todos estos datos fueron consignados en un formato específico para este grupo. Estas observaciones se realizaron durante el mismo tiempo en que se encontraban abiertas las redes.

Herpetofauna

Búsqueda por recorridos y en microhábitats: Uno de los métodos más efectivos para la detección de reptiles y anfibios es realizando recorridos en los cuales se abarque la mayor cantidad de ambientes y microhábitats (cuerpos de agua, bosques, áreas abiertas, hojarasca, piedras, cuevas, etc.) con diferencias de tiempo, ya que animales diurnos son detectados en recorridos diurnos y animales nocturnos en recorridos nocturnos; la captura de reptiles se realiza con la ayuda de ganchos herpetológicos sobre todo con especies venenosas (Manzanilla & Péfaur, 2000).

Siempre que fue posible se procedió a realizar captura de los organismos encontrados y levantar las respectivas medidas y toma de datos fotográficos. Posteriormente los datos adquiridos en campo se analizaron y procesaron usando claves taxonómicas para verificar y determinar correctamente la especie.

Búsqueda Directa: Este método se utiliza para especies o lugares que son difíciles para el avistamiento de los individuos y se realizan recorridos con ayuda de unos binoculares de 10 X 40 mm. El método permite registrar información comportamental e historia natural de especies de tamaños medianos y grandes como caimanes, tortugas y lagartos; la información se cronometra y georreferencia para posteriores análisis. Los horarios de búsqueda fueron desde las 8:00 am hasta las 12:30 m y de 2:30 a 8:00 pm., cubriendo los hábitos diurnos y nocturnos de anfibios y reptiles.

Mastofauna

Observación directa: En este método se traza un transecto y se realiza el recorrido cronometrando y georreferenciando la información; se aplica a mamíferos no voladores. Él observador puede escoger la distancia mínima de observación y puede ayudarse, si es un recorrido diurno de binoculares de 10 X 40 mm para poder detallar al individuo.

Redes de niebla: Para quirópteros se dispusieron las dos redes de niebla usadas en el muestreo de aves entre las 6:00 y las 10:00 pm. Se revisaron las redes de niebla cada 20 min y se tomaron las medidas necesarias para su identificación taxonómica. Una vez realizadas las medidas se procedió a liberar a los individuos capturados.

Detección indirecta, búsqueda de huellas y rastros: Los rastros que se encuentran comúnmente son huellas, excrementos, marcas en troncos, rascaderos, zonas de descanso, madrigueras, pelos y desperdicios de presas. Para el correcto conteo de estos rastros se usaron los mismos recorridos establecidos para la herpetofauna, los cuales se cronometraron y georreferenciaron para análisis poblacionales, teniendo en cuenta los índices de diversidad propuestos.

Tratamiento numérico

A partir de los reportes de los muestreos en campo se realizó el tratamiento numérico, empleando para ello los índices presentados a continuación.

Índice de diversidad Shannon-Wiener

Este índice combina la riqueza de especies y la uniformidad, ya que indica qué tan uniformemente están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas. Es muy utilizado en ecología ya que es independiente del tamaño de la muestra y requiere menos muestreos para obtener un valor seguro (aunque puede verse fuertemente influenciado por las especies más abundantes). Matemáticamente se define como:

$$H' = -\sum \left(\frac{¿}{N} x \ln \frac{¿}{N} \right)$$

Donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

Índice de uniformidad (Shannon estandarizado)

Este índice compara el resultado del índice de Shannon-Wiener estimado (H') con el máximo valor posible del mismo (ln S, el logaritmo del número de especies encontradas). De esta forma, es una medida de qué tan cercano está el H' obtenido del valor máximo teórico para el número de especies hallado. Además, este estimador es independiente del número de especies y se calcula de la siguiente manera:

$$J = \frac{-\sum \left(\frac{¿}{N} x \ln \frac{¿}{N} \right)}{\ln S} = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

S = Número de especies

H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener

Índice de diversidad de Simpson

Se considera como índice de dominancia, ya que representa la probabilidad de que dos especies cualesquiera pertenezcan a la misma especie; si el valor es alto, hay una alta dominancia de alguna o algunas especies, mientras que, si el valor es bajo, el número de individuos por especie es similar en todas las especies, es decir que hay baja dominancia. Es un índice sensible a la abundancia de las especies más frecuentes de la comunidad. Su fórmula matemática es:

$$D = \sum \left(\frac{¿}{N} \right)^2$$

Donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

El complemento de este índice (1-D) se utiliza como medida de diversidad.

Finalmente, se realizarán comparaciones entre los reportes de fauna de las diferentes coberturas vegetales, con el fin de detectar similitudes entre las mismas. Para ello se realizará un análisis multivariado de agrupamiento utilizando el método *UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* – método de agrupamiento por pares con media aritmética no ponderado), el cual permite detectar grupos de acuerdo con su similitud en cuanto a la presencia/ausencia de especies en cada cobertura. Como índice de similitud se empleará el índice de Jaccard:

$$J = \frac{A}{A+B+C}$$

Donde:

A = Número de especies encontradas en común entre dos coberturas

B = Número de especies encontradas solo en una de las coberturas

C = Número de especies encontradas en la otra cobertura

RESULTADOS

Revisión de información secundaria

En la base de datos del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB) del Instituto Alexander von Humboldt se encuentran 887 reportes de fauna (688 de vertebrados terrestres), pertenecientes a 9 clases, 31 órdenes, 92 familias y 197 especies. En la Tabla 2 se listan las especies de vertebrados reportadas en el SiB.

Tabla 2. Especies de vertebrados reportadas en el SiB para el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá.

Clase	*Orden*	*Familia*	*Especie*
Amphibia	*Anura*	*Bufonidae*	*Atelopus ebenoides*
			Atelopus marinkellei
		Centrolenidae	*Centrolene buckleyi*
		Craugastoridae	*Niceforonia nana*
			Pristimantis elegans
			Pristimantis lynchi
			Pristimantis mnionaetes
			Pristimantis nervicus
			Pristimantis null
			Pristimantis susaguae
		Dendrobatidae	*Hyloxalus subpunctatus*
		Hylidae	*Dendropsophus labialis*
			Dendropsophus stingi
			Hyla labialis
			Hyloscirtus bogotensis
		Leptodactylidae	*Eleutherodactylus lynchi*
			Engystomops pustulosus
		Strabomantidae	*Pristimantis lynchi*
Aves	*Anseriformes*	*Anatidae*	*Anas andium*
			Anas discors
			Anas georgica
			Aythya affinis
			Merganetta armata
			Nomonyx ferruginea
			Oxyura jamaicensis

	Galliformes	*Cracidae*	*Penelope montagnii*
		Odontophoridae	*Colinus cristatus*
	Podicipediformes	*Podicipedidae*	*Podiceps andinus*
			Podilymbus podiceps
			Tachybaptus andinus
			Tachybaptus dominicus
	Pelecaniformes	*Ardeidae*	*Ardea alba*
			Bubulcus ibis
			Butorides striata
			Butorides virescens
			Egretta caerulea
			Egretta thula
			Ixobrychus exilis
			Ixobrychus exilis
			Nycticorax nycticorax
	Cathartiformes	*Cathartidae*	*Cathartes aura*
	Accipitriformes	*Accipitridae*	*Circus cinereus*
			Spizaetus melanoleucus
	Falconiformes	*Falconidae*	*Falco sparverius*
	Falconiformes	*Pandionidae*	*Pandion haliaetus*
	Gruiformes	*Rallidae*	*Fulica americana*
			Gallinula galeata
			Gallinula melanops
			Porphyrio martinicus
			Porzana carolina
			Rallus semiplumbeus
	Charadriiformes	*Charadriidae*	*Himantopus mexicanus*
			Vanellus chilensis
		Scolopacidae	*Actitis macularia*
			Actitis macularius
			Calidris melanotos
			Gallinago delicata
			Gallinago gallinago
			Gallinago nobilis
			Tringa melanoleuca
			Tringa solitaria
		Laridae	*Larus delawarensis*
			Phaetusa simplex
	Columbiformes	*Columbidae*	*Patagioenas fasciata*

			Zenaida auriculata
	Psittaciformes	*Psittacidae*	*Amazona mercenarius*
			Pyrrhura calliptera
	Caprimulgiformes	*Caprimulgidae*	*Systellura longirostris*
	Apodiformes	*Apodidae*	*Streptoprocne rutila*
			Streptoprocne zonaris
		Trochilidae	*Aglaeactis cupripennis*
			Chalcostigma heteropogon
			Coeligena helianthea
			Eriocnemis cupreoventris
			Eriocnemis vestita
			Metallura tyrianthina
			Pterophanes cyanopterus
	Piciformes	*Picidae*	*Colaptes rivolii*
	Passeriformes	*Furnariidae*	*Asthenes flammulata*
			Asthenes fuliginosa
			Cinclus leucocephalus
			Hellmayrea gularis
			Margarornis squamiger
			Synallaxis subpudica
		Grallariidae	*Grallaria quitensis*
			Grallaria rufula
			Grallaria squamigera
		Rhinocryptidae	*Scytalopus griseicollis*
			Scytalopus spillmanni
		Tyrannidae	*Elaenia frantzii*
			Hemitriccus granadensis
			Mecocerculus leucophrys
			Muscisaxicola maculirostris
			Myiotheretes fumigatus
			Ochthoeca cinnamomeiventris
			Ochthoeca frontalis
			Ochthoeca fumicolor
			Ochthoeca rufipectoralis
			Phyllomyias nigrocapillus
			Pyrrhomyias cinnamomeus
			Tyrannus melancholicus
		Cotingidae	*Pipreola riefferii*
		Hirundinidae	*Orochelidon murina*

			Progne subis
			Progne tapera
		Troglodytidae	*Cinnycerthia unirufa*
			Cistothorus apolinari
			Cistothorus platensis
			Troglodytes aedon
		Cinclidae	*Cinclus leucocephalus*
		Turdidae	*Turdus fuscater*
		Thraupidae	*Anisognathus igniventris*
			Buthraupis montana
			Catamenia inornata
			Chlorornis riefferii
			Cnemathraupis eximia
			Conirostrum rufum
			Conirostrum sitticolor
			Diglossa caerulescens
			Diglossa cyanea
			Diglossa humeralis
			Diglossa lafresnayii
			Dubusia taeniata
			Hemispingus atropileus
			Hemispingus verticalis
			Tangara vassorii
		Emberizidae	*Atlapetes pallidinucha*
			Atlapetes schistaceus
			Catamenia inornata
			Phrygilus unicolor
			Zonotrichia capensis
		Cardinalidae	*Piranga rubra*
		Parulidae	*Dendroica cerulea*
			Myioborus ornatus
			Myiothlypis nigrocristatus
			Seiurus noveboracensis
		Icteridae	*Sturnella magna*
		Fringillidae	*Atlapetes pallidinuchus*
			Carduelis spinescens
			Catamenia analis
			Catamenia inornata
			Pheucticus aureoventris

			Phrygilus unicolor
			Zonotrichia capensis

Fuente. Sistema de Información de Biodiversidad (SiB), Instituto Alexander von Humboldt. www.sibcolombia.net

Inventario en campo

Se reportó un total de 153 registros de fauna en el trabajo de campo, pertenecientes a 55 especies (2 de anfibios, 3 de reptiles, 39 de aves y 11 de mamíferos). 43 registros (28,11%) fueron directos (observaciones visuales de los individuos) y 110 (73,80%) fueron indirectos. En la Tabla 3. se presenta el resumen de los registros.

Tabla 3. Registros de fauna en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá

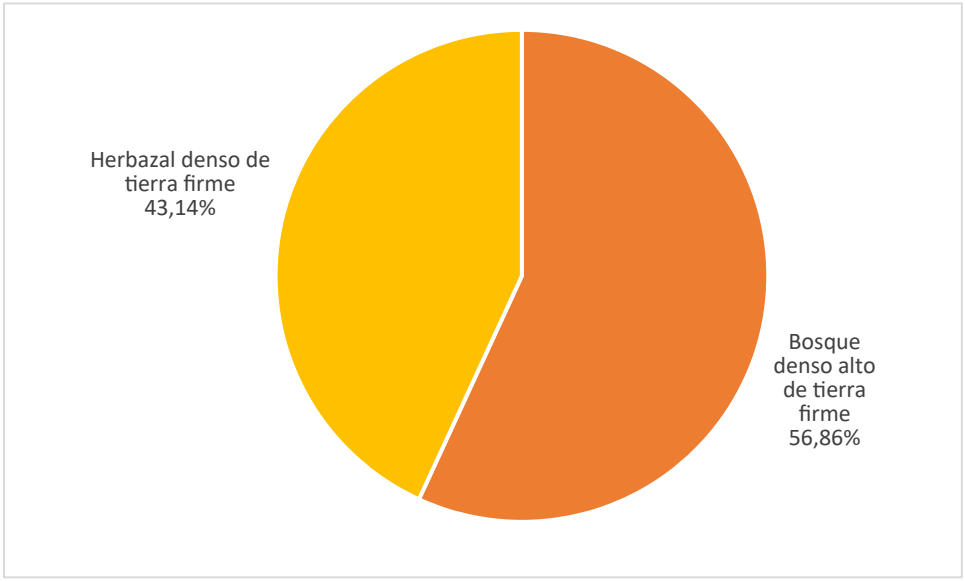
Grupo	**Anfibios**		**Reptiles**		**Aves**		**Mamíferos**		**TOTAL**
Tipo*	D	I	D	I	D	I	D	I	
No. Observaciones	3	3	3	3	36	51	1	53	153

* D: Directo; I: Indirecto

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

La mayoría de los reportes son de aves con 87 (56,86%), seguido por mamíferos con 54 (35,30%), anfibios y reptiles con 6 (3,92%) cada uno. En cuanto a coberturas, poco más de la mitad de los registros fueron hechos en el bosque denso alto de tierra firme con 87 (56,86%) y el resto en el herbazal denso de tierra firme con 66 (43,14%) (ver Gráfica 1).

Gráfica 1. Reportes de fauna por cobertura vegetal en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

A continuación, se analizan los registros de fauna por cada una de las clases reportadas y posteriormente se presentan los resultados de los análisis de diversidad.

Herpetofauna

Se reportaron 6 registros de anfibios, pertenecientes a dos especies: Dendropsophus labialis (Anura:Hylidae) y Pristimantis sp. (Anura:Craugastoridae). Pristimantis sp. fue reportada en dos ocasiones en el bosque denso alto de tierra firme, mientras que D. labialis tuvo cuatro registros, 3 en el herbazal denso de tierra firme y uno en el bosque denso de tierra firme. Tres de los registros de D. labialis fueron producto de las encuestas realizadas a los pobladores locales. Esta especie se encuentra listada como Preocupación Menor (LC) en UICN[1], y no se encuentra en los listados de CITES[2], el Libro Rojo de los Anfibios de Colombia (Rueda-Almonacid et al., 2004) o la Resolución 1912 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Al no tener la determinación a nivel de especie de Pristimantis sp., no es posible establecer su grado de amenaza.

Por su parte, se reportaron 3 registros en campo de reptiles (Stenocercus trachycephalus, en el herbazal denso de tierra firme, Anadia bogotensis y Phenacosaurus heterodermus en el bosque denso alto de tierra firme), y 3 más en las encuestas a los pobladores locales, correspondientes a dos lagartos: P. heterodermus y S. trachycephalus en las mismas coberturas de los registros directos. Las tres especies aparecen en la categoría Preocupación Menor (LC) de UICN, y ninguna aparece en los listados de CITES ni la Resolución 1912 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Avifauna

Se reportaron 84 registros de aves, correspondientes a 13 órdenes, 26 familias y 39 especies. En la Tabla 4 se listan las especies registradas y su categoría según UICN, CITES y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Todas las especies a excepción de cuatro se listan en UICN como baja preocupación (LC): el cóndor de los Andes (Vultur gryphus, casi amenazado), la gargalleta (Gallinago nobilis, casi amenazada), el periquito aliamarillo (Pyrrhura calliptera, vulnerable) y el ruin (Cistothorus apolinari, en peligro). El cóndor de los Andes se encuentra además en CITES bajo el Apéndice I y en la Resolución 1912 de 1017 en estado crítico.

Tabla 4. Registros de aves en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	UICN	Apéndice CITES	Res. 1912/ 17
Anseriformes	Anatidae	Anas andium	Pato	LC		
Galliformes	Cracidae	Penelope montagnii	Pava	LC		
	Odontophoridae	Colinus cristatus	Perdiz	LC		
Cathartiformes	Cathartidae	Coragyps atratus	Chulo	LC		
		Vultur gryphus	Condor	NT	Ap. I	CR
Accipitriformes	Accipitridae	Elanus leucurus	Gavilán maromero	LC	Ap. II	
		Geranoaetus melanoleucus	Aguila paramuna	LC	Ap. II	
		Rupornis magnirostris	Gavilan	LC		
Falconiformes	Falconidae	Falco sparverius	Cernícalo americano	LC		
Charadriiformes	Scolopacidae	Gallinago nobilis	Gargalleta	NT		

[1]Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza: www.iucnredlist.org
[2]Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. www.cites.org

		Tringa flavipes	Patiamarillo chico	LC		
Columbiformes	Columbidae	Zenaida auriculata	Torcaza	LC		
Psittaciformes	Psittacidae	Pionus chalcopterus	Cotorra oscura	LC	Ap. II	
		Pyrrhura calliptera	Periquito aliamarillo	VU	Ap. II	
Strigiformes	Tytonidae	Tyto alba	Lechuza	LC	Ap. II	
	Strigidae	Megascops choliba	Buho-Currucutú	LC	Ap. II	
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	Nyctidromus albicollis	Guardacaminos	LC		
Apodiformes	Trochilidae	Aglaeactis cupripennis	Colibrí paramuno	LC	Ap. II	
		Chalcostigma heteropogon	Colibrí	LC	Ap. II	
		Coeligena helianthea	Colibrí	LC		
		Colibri coruscans	Colibrí chillón	LC	Ap. II	
		Eriocnemis vestita	Colibrí	LC		
Piciformes	Picidae	Colaptes rivolii	Carpintero	LC		
		Colaptes rubiginosus	Carpintero cariblanco	LC		
Passeriformes	Tyrannidae	Elaenia frantzii	Elaenia montañera	LC		
		Ochthoeca fumicolor	Pitajo ahumado	LC		
	Hirundinidae	Orochelidon murina	Golondrina	LC		
	Troglodytidae	Cistothorus apolinari	Ruin	EN		
		Cistothorus platensis	Cucarachero paramuno	LC		
	Cinclidae	Cinclus leucocephalus	Mirlo acuático	LC		
	Turdidae	Turdus fuscater	Siote	LC		
	Thraupidae	Anisognathus igniventris	Clarinegro	LC		
		Diglossa humeralis	Picaflor negro	LC		
	Emberizidae	Zonotrichia capensis	Copetón	LC		
	Parulidae	Myioborus ornatus	Abanico cariblanco	LC		
	Icteridae	Sturnella magna	Jaqueco	LC		
	Fringillidae	Carduelis psaltria	Jilguero aliblanco	LC		
		Euphonia laniirostris	Eufonia gorgiamarilla	LC		
		Spinus spinescens	Jilguero andino	LC		

LC: baja preocupación; NT: casi amenazado; EN: en peligro; VU: vulnerable

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Las familias más abundantes en número de registros son Turdidae y Emberizidae con 8, seguidas de Tyrannidae y Trochilidae con 6 y Thraupidae, Picidae, Odontophoridae e Icteridae con 5. Las demás familias presentaron menos de 5 registros (Gráfica 2).

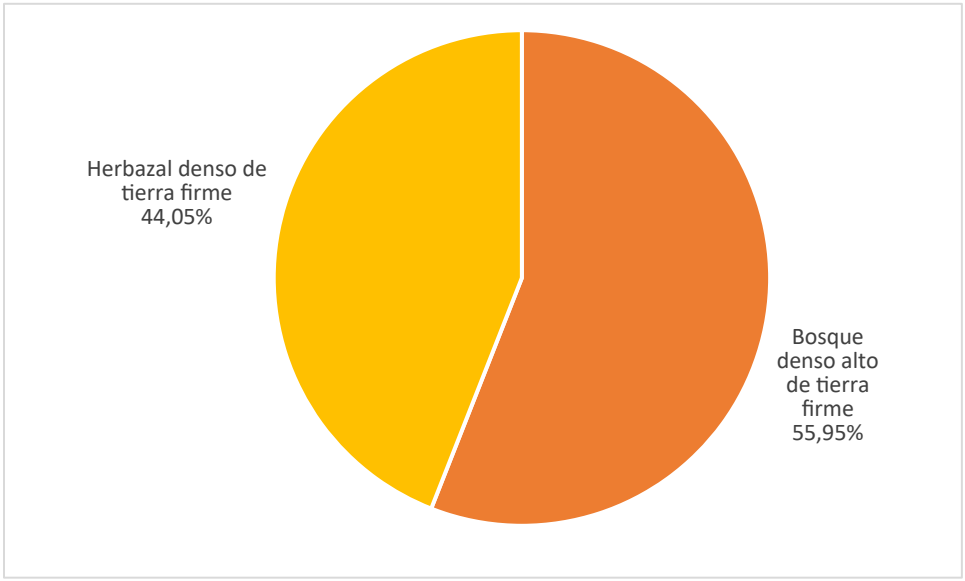
Gráfica 2. Número de reportes por familia de aves en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

En cuanto a las coberturas vegetales, la mayor proporción de reportes fue hecha en el bosque denso de tierra firme con 47 (55,95%), seguido del herbazal denso de tierra firme con 37 (44,05%) (Gráfica 3).

Gráfica 3. Reportes de aves por cobertura vegetal en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.



Fuente.ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Mastofauna

Se reportaron 54 registros de mamíferos, correspondientes a 6 órdenes, 11 familias y 11 especies. Solamente hubo una observación directa y el resto de los reportes fueron indirectos. En la Tabla 5 se listan las especies registradas y su categoría su categoría según UICN y CITES. Ninguna de las

especies reportadas se encuentra reportada en la Resolución 1912 de 2017 y todas menos dos aparecen en UICN como Preocupación Menor (LC): el guache (Nasuella olivacea, casi amenazado) y el tinajo (Cuniculus tackzanowskii, casi amenazado).

Tabla 5. Registros de mamíferos en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá

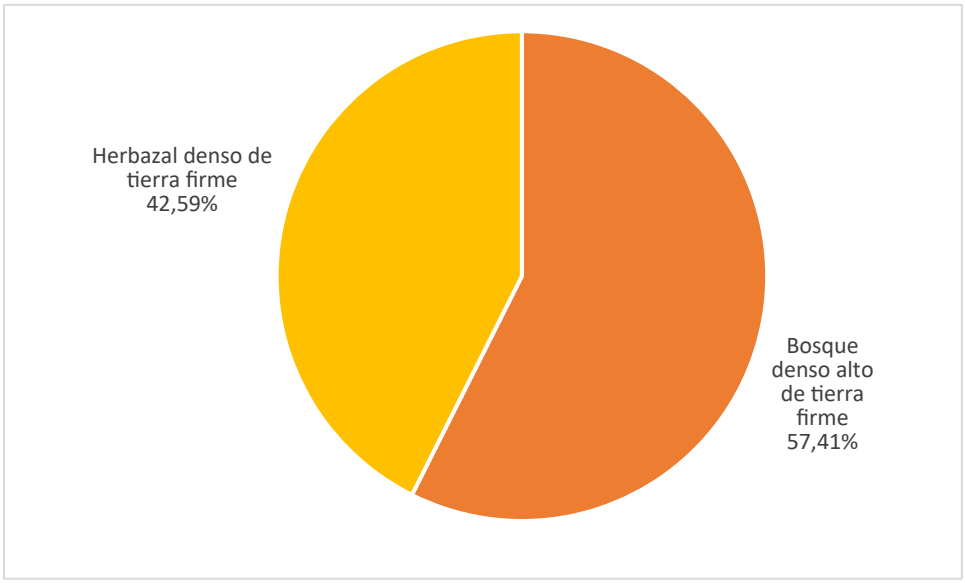
Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	UICN	Apéndice CITES
Carnivora	Canidae	Cerdocyon thous	Zorro perruno	LC	Ap. II
	Felidae	Leopardus pardalis	Tigrillo	LC	
	Mephitidae	Conepatus semistriatus	Mapuro	LC	
	Mustelidae	Mustela frenata	Comadreja	LC	
	Procyonidae	Nasuella olivacea	Guache	NT	
Cetartiodactyla	Cervidae	Odocoileus virginianus	Venado cola blanca	LC	
Cingulata	Dasypodidae	Dasypus novemcinctus	Armadillo	LC	
Didelphimorphia	Didelphidae	Didelphis marsupialis	Chucha-fara	LC	
Lagomorpha	Leporidae	Sylvilagus brasiliensis	Conejo	LC	
Rodentia	Caviidae	Cavia anolaimae	Curi	LC	
	Cuniculidae	Cuniculus taczanowskii	Tinajo	NT	

LC: baja preocupación; NT: casi amenazado

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Los reportes de mamíferos fueron más abundantes en el bosque denso alto de tierra firme con un 57,41%, mientras que el bosque denso de tierra firme solamente presentó 42,59% de los mismos (Gráfica 4).

Gráfica 4. Reportes de mamíferos por cobertura vegetal en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.



Fuente.ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Análisis de diversidad

El análisis de la diversidad de la fauna se llevó a cabo por cada una de las coberturas vegetales definidas, en consideración a que son los diferentes tipos de ecosistemas los que determinan las condiciones propicias para la existencia de las diferentes especies de animales que se encuentran allí. En este análisis se incluyeron únicamente los reportes directos, ya que solamente estos datos son comparables entre sí por el esfuerzo de muestreo, definido por el tamaño de cada parcela. Los datos obtenidos de observaciones indirectas no fueron considerados por la imposibilidad de estimar el número de individuos relacionados con ellos.

De acuerdo con lo anterior, los análisis incluyeron 22 registros de aves, 1 de mamíferos, 2 de anfibios y 3 de reptiles, para un total de 28 registros (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de los análisis de diversidad de la fauna del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá

Cobertura*	No. Especies	No. Individuos	Dominancia Simpson (D)	Diversidad Simpson (1-D)	Diversidad Shannon-Wiener (H)	Uniformidad (J)
BDATF	18	22	0.062	0.938	2.839	0.982
HDTF	14	21	0.093	0.907	2.508	0.950

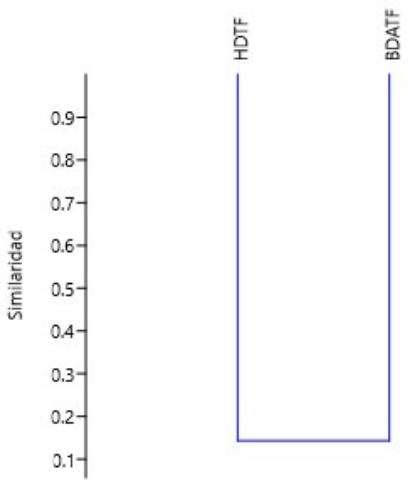
* BDATF: Bosque denso alto de tierra firme; HDTF: Herbazal denso de tierra firme.

Fuente.ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Es claro que los mayores valores de diversidad tanto para el índice de Simpson como para Shannon-Wiener se presentan en el bosque denso alto. Estos resultados se pueden relacionan con la uniformidad, ya que es una medida de qué tan uniformemente distribuidos se encuentran los individuos en cada una de las especies, y este valor es más alto en el bosque denso alto de tierra firme (páramo). No obstante, para ambas cobertruas los valores son altos, lo que confirma que el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá presenta una alta biodiversidad.

Por otro lado, al comparar las dos coberturas mediante el análisis de agrupamiento utilizando el índice de similaridad de Jaccard, se obtiene el resultado presentado en la Gráfica 5. Se observa que las dos coberturas presentan muy baja similaridad, con un valor apenas superior a 0,1). Esto se debe a que solamente 4 de las 28 especies incluidas en este análisis se encuentran en ambas coberturas; las 24 especies restantes son exclusivas de una o de otra cobertura, lo que indica que es de gran importancia la conservación de estas dos coberturas bajo la figura de protección de Parque Natural Regional.

Gráfica 5. Análisis de agrupamiento de la fauna del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá. Índice de similaridad de Jaccard y agrupamiento UPGMA



* BDTAF: Bosque denso alto de tierra firme; HDTF: Herbazal denso de tierra firme.
Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

6.4. FLORA

Como en el capítulo anterior se tuvo en cuenta el mismo estudio de CORPOBOYACÁ, el cual, tiene en cuenta dentro de los planes de manejo de áreas protegidas una dimensión fundamental es la representada por la flora. Se puede considerar la presencia de ciertas especies de animales terrestres como una consecuencia de las diferentes coberturas vegetales presentes en un área, de manera que la vegetación es un determinante fundamental de la fauna de la misma. Adicionalmente, la vegetación es un factor que modifica permanentemente el ambiente, ya sea depositando y absorbiendo nutrientes, favoreciendo ciclos biogeoquímicos, cambiando la composición del suelo o afectando las condiciones ambientales dependiendo de su estructura y composición.

MÉTODOS

Recopilación de información secundaria

Se realizó una consulta de la base de datos del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB) del Instituto Alexander von Humboldt (www.sibcolombia.net). Se incluye en esta consulta la superficie total de los municipios de Aquitania, Mongua, Monguí y Sogamoso, ya que el sistema no permite una búsqueda por veredas o polígonos definidos por el usuario.

Inventario de campo

Para el muestreo de flora se emplearon las mismas parcelas que se establecieron para el muestreo de fauna. Los muestreos se desarrollaron de acuerdo con el “Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad” (Villarreal et al., 2006), utilizando un diseño sistemático en fajas estratificado por tipo de cobertura. Para ello, se establecieron parcelas de tipo rectangular, comúnmente utilizadas en inventarios rápidos; cada una de las parcelas abarcó un rectángulo de 100 m de largo por 10 m de ancho, para un total de 1.000 m2.

El universo de evaluación incluyó árboles y arbustos con un diámetro a la altura del pecho (DAP a 1,30 m desde el suelo) mayor a 10 cm.

Los parámetros generales y fisiológicos registrados en el estudio de vegetación para el parea de estudio fueron: ubicación general, coordenadas, tipo de cobertura, número de parcela, número del individuo, nombre común, nombre científico, altura total, diámetro y observaciones, correspondientes a: en floración, con frutos, presencia de epifitas, entre otras. De igual manera se hizo un registro del sitio de muestreo y/o verificación de la cobertura vegetal presente. Para esto se tomaron los datos generales de ubicación, como son: departamento, municipio, vereda, predio, altura sobre el nivel del mar, propietario (si registra), número de parcela, tipo de cobertura, grado de intervención de la cobertura y las respectivas coordenadas. También se realizó el registro fotográfico general de las coberturas y específico de las parcelas inventariadas.

El número de parcelas utilizados está directamente relacionado con el tipo de muestreo seleccionado (muestreo estandarizado), y es utilizada para analizar la estructura del bosque, la composición florística, monitoreo de la diversidad y la evaluación de la dinámica sucesional; en estos casos basta con una sola unidad de muestreo por tipo de vegetación para lograr el diagnóstico o caracterización de las coberturas boscosas objeto de estudio[3].

Tratamiento numérico

A partir de los reportes de los muestreos en campo se realizó el tratamiento numérico, empleando para ello los índices presentados a continuación.

Índice de diversidad Shannon-Wiener

Este índice combina la riqueza de especies y la uniformidad, ya que indica qué tan uniformemente están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas. Es muy utilizado en ecología ya que es independiente del tamaño de la muestra y requiere menos muestreos para obtener un valor seguro (aunque puede verse fuertemente influenciado por las especies más abundantes). Matemáticamente se define como:

$$H' = -\sum \left(\frac{¿}{N} x \ln \frac{¿}{N} \right)$$

donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

Índice de uniformidad (Shannon estandarizado)

Este índice compara el resultado del índice de Shannon-Wiener estimado (H') con el máximo valor posible del mismo (ln S, el logaritmo del número de especies encontradas). De esta forma, es una medida de qué tan cercano está el H' obtenido del valor máximo teórico para el número de especies hallado. Además, este estimador es independiente del número de especies y se calcula de la siguiente manera:

[3] FAO,1980. Ecosistemas de boques tropicales. Paris, Francia

$$J = \frac{-\sum \left(\frac{¿}{N} x \ln \frac{¿}{N} \right)}{\ln S} = \frac{H'}{\ln S}$$

donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

S = Número de especies

H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener

Índice de diversidad de Simpson

Se considera como índice de dominancia, ya que representa la probabilidad de que dos especies cualesquiera pertenezcan a la misma especie; si el valor es alto, hay una alta dominancia de alguna o algunas especies, mientras que, si el valor es bajo, el número de individuos por especie es similar en todas las especies, es decir que hay baja dominancia. Es un índice sensible a la abundancia de las especies más frecuentes de la comunidad. Su fórmula matemática es:

$$D = \sum \left(\frac{¿}{N} \right)^2$$

donde:

Ni = # de Individuos por especie

N = # total de Individuos

El complemento de este índice (1-D) se utiliza como medida de diversidad.

Finalmente, se realizarán comparaciones entre los reportes de fauna de las diferentes coberturas vegetales, con el fin de detectar similitudes entre las mismas. Para ello se realizará un análisis multivariado de agrupamiento utilizando el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean – método de agrupamiento por pares con media aritmética no ponderado), el cual permite detectar grupos de acuerdo con su similitud en cuanto a la presencia/ausencia de especies en cada cobertura. Como índice de similitud se empleará el índice de Jaccard:

$$J = \frac{A}{A+B+C}$$

Donde:

A = Número de especies encontradas en común entre dos coberturas

B = Número de especies encontradas solo en una de las coberturas

C = Número de especies encontradas en la otra cobertura

RESULTADOS

Revisión de información secundaria

En la base de datos del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB) del Instituto Alexander von Humboldt se encuentran 10314 registros de flora, pertenecientes a 18 clases, 83 órdenes, 141 familias y 726 especies En la Tabla 10 se presenta el listado completo de especies.

Inventario en campo

Se reportaron 764 individuos de plantas, correspondientes a 17 familias y 38 especies (Tabla 7). El frailejón de Chocontá o frailejón alto (Espeletia chocontana) se encuentra listado en la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como en peligro (EN), el aliso (Alnus jorullensis) aparece en UICN[4] como en preocupación menor (LC) y el género Cyathea se lista en el Apéndice II de CITES.

Tabla 7. Especies de flora registrados por cada cobertura en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá

Familia	Especie	Nombre común	BDATF	HDATF
Araliaceae	Schefflera trianae	Higueron	2	
Asteraceae	Ageratiina tinifolia	Suda	7	
Asteraceae	Baccharis latifolia	Chilca	6	18
Asteraceae	Diplostephium floribundum	Romero paramuno 3	19	
Asteraceae	Diplostephium phylicoides	Romero paramuno 2		3
Asteraceae	Diplostephium revolutum	Romero	2	2
Asteraceae	Espeletia argentea	Frailejon comun		134
Asteraceae	Espeletia barclayana	Frailejon blanco algodón	1	
Asteraceae	Espeletia chocontana	Frailejon alto		47
Asteraceae	Espeletia grandiflora	Frailejon alto flor amarilla		304
Asteraceae	Espeletia uribei	Frailejon super alto		2
Asteraceae	Espeletiopsis corymbosa	Frailejon coriaceo		36
Asteraceae	Espeltiopsis sp.	Frailejon terciopelo		3
Asteraceae	Gynoxys Fuliginosa	Blanquito (Rusio)		8
Asteraceae	Gynoxys sp	Palo Blanco	1	
Asteraceae	Pentacalia abietina	Romero paramuno		4
Betulaceae	Alnus jorullensis	Aliso	5	
Bromeliaceae	Puya goudotiana	Cardon grande		10

[4] www.uicnredlist.org

Bromeliaceae	Puya santosii	Cardon espinado, cardoncito		22
Clusiaceae	Clusia ducu	Cucharo 2	3	5
Clusiaceae	Clusia multiflora	Platero		3
Cunoniaceae	Weinmannia fagaroides	Encenillo montañero	12	3
Cunoniaceae	Weinmannia tomentosa	Encenillo	20	3
Cyatheaceae	Cyathea caracasana	Palma boba	1	2
Elaeocarpaceae	Vallea stipularis	Raque		1
Ericaceae	Cavendishia cordifolia	Anis		2
Ericaceae	Gaultheria sp	Reventadera		7
Ericaceae	Macleania rupestris	Uvo		1
Ericaceae	Vaccinium floribundum	Pachin		2
Euphorbiaceae	Hyeronima colombiana	Chuguaca		5
Euphorbiaceae	Tetrorchidium boyacanum	Cenizo		4
Hypericaceae	Hypericaceae	Chite		2
Hypericaceae	Hypericum juniperinum	Chite		3
Hypericaceae	Hypericum mexicanum	Pega pega lunaria		20
Lauraceae	Beilschmiedia sp.	Tostado		3
Lauraceae	Cryptocarya dubia	Amarillo		1
Melastomataceae	Bucquetia glutinosa	7 cueros pequeño, canelo, angelito	3	12
Melastomataceae	Miconia elaiodes	Tuno serrulado	7	
Melastomataceae	Miconia ligustrina	Tuno peludo		12
Melastomataceae	Miconia salicifolia	Chite negro		2
Poaceae	Chusquea tessellata	Chusque		10
Primulaceae	Cybianthus iteoides	3 hojas		3
Primulaceae	Myrsine dependens	Cucharo negro	2	
Rosaceae	Acaena cylindristachya	Cadillo rasante		22
Rosaceae	Hesperomeles heterophylla	Mortiño	9	1
Rubiaceae	Arcytophyllum nitidum	Piojo		55
inderminada	inderminada	Esterilla flor morada		1
TOTAL				

* BDATF: Bosque denso alto de tierra firme; HDTF: Herbazal denso de tierra firme.

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

La cobertura de herbazal denso de tierra firme presentó la mayor cantidad de registros con 759 (88,36%), seguida del bosque denso alto de tierra firme con 100 (11,64%). En cuanto al número de especies, el herbazal denso de tierra firme presentó 39 (82,98 del total) y el bosque denso alto de tierra firme 16 (34,04%). 8 especies (17,02%) se encuentran en las dos coberturas estudiadas.

Análisis de estructural y fisionómico

El análisis estructural y fisionómico no se llevó a cabo para el herbazal denso de tierra firme, ya que allí predominan especies herbáceas (que metodológicamente no se incluyeron en el muestreo) y frailejones, por lo cual los cálculos de área basal, altura y volumen no arrojan información que sea comparable con coberturas que contengan elementos leñosos. Para el bosque denso alto denso de tierra firme, el resultado se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de información estructural coberturas vegetales muestreadas en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.

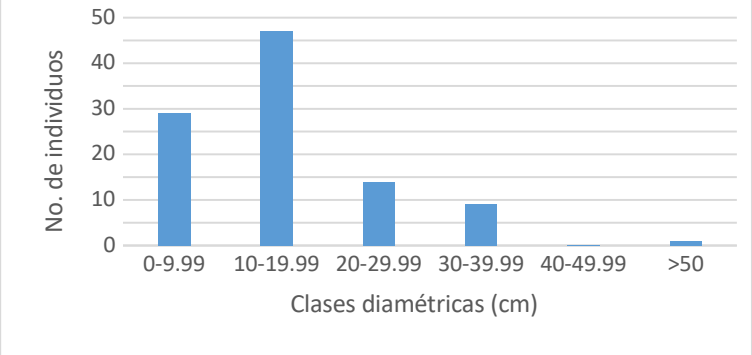
Cobertura	No. Individuos	Área Basal (m2)	Altura promedio (m)	Volumen (m3)
Bosque denso alto de tierra firme	49	2,5044	7,6458	25,0197

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Se observa que el bosque denso alto de tierra firme en general no presenta mayores alturas y tampoco una gran área basal (el DAP promedio fue de apenas 15,67 cm). Esto probablemente se relaciona con que la elevación a la que se encuentran estos bosques es alta (mayor a 3.150 msnm), lo cual se relaciona con una baja temperatura que a su vez significa un limitante fisiológico para el crecimiento de la vegetación.

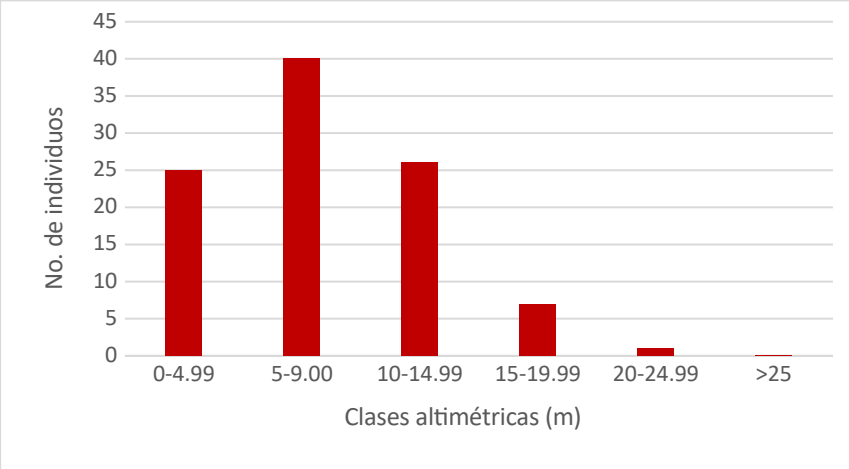
En cuanto a la estructura vertical y horizontal, en la Gráfica 6 y la Gráfica 7 se presenta la distribución de las clases diamétricas y altimétricas por cada cobertura.

Gráfica 6. Distribución de clases diamétricas en la vegetación del bosque denso alto de tierra firme.



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Gráfica 7. Distribución de clases altimétricas en la vegetación del bosque denso alto de tierra firme.



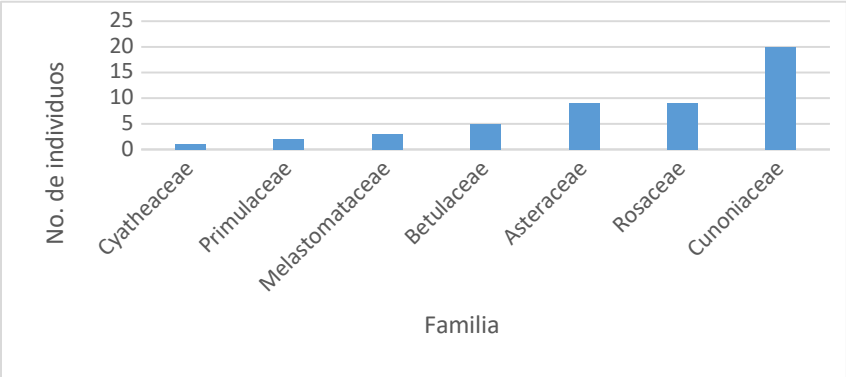
Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

El análisis de las distribuciones diamétricas permite inferir el estado demográfico de las coberturas vegetales y sus posibles problemas de conservación. Para las clases diamétricas del bosque denso alto de tierra firme, se presenta una gráfica con forma de J invertida, lo que indica un buen estado del ecosistema, ya que tiene una gran cantidad de individuos en las clases diamétricas bajas, que reemplazarán paulatinamente a los individuos que en el futuro vayan desapareciendo. Sin embargo, la primera de las clases diamétricas (0-9,99 cm) presenta menos individuos de los que debería, indicando que de alguna manera la renovación de individuos no está produciéndose con la velocidad necesaria o que hay entresaca de individuos jóvenes. Cualquiera que sea la causa, debe prestarse atención a este fenómeno, ya que puede afectar el recambio futuro de individuos arbóreos en esta cobertura. De igual forma sucede con las clases altimétricas, corroborando lo anterior.

Composición florística

En el bosque denso alto de tierra firme se reportaron 100 individuos, pertenecientes a 9 familias y 16 especies. La familia más abundante fue Asteraceae, seguida de Cunoniaceae y Melastomataceae (Gráfica 8). Las especies más abundantes fueron el encenillo macho (Weinmannia tomentosa, Cunoniaceae, 20,00%), el romero paramuno (Diplostephium floribundum, Asteraceae, 19,00%) y el encenillo montañero (Weinmannia fagaroides, Cunoniaceae, 12,00%).

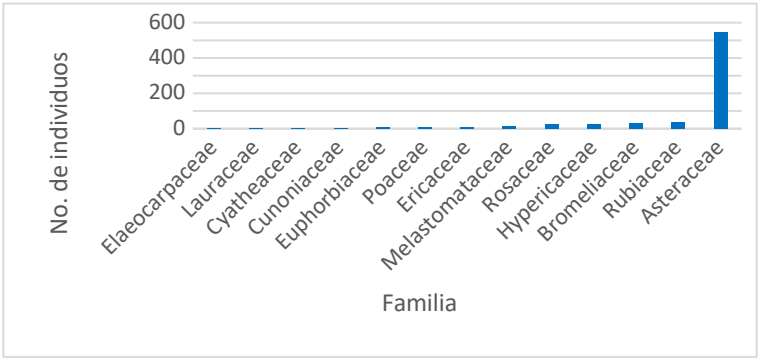
Gráfica 8. Abundancia de familias en el bosque denso alto de tierra firme



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

En el herbazal denso de tierra firme se reportaron 759 individuos, pertenecientes a 16 familias y 39 especies. La familia más abundante fue Asteraceae, seguida de Rubiaceae y Bromeliaceae (Gráfica 9). Las especies más abundantes pertenecen a la familia Asteraceae: el frailejón botón de oro (Espeletia grandiflora, 40,05%), el frailejón común (Espeletia argentea, 17,65%) y el frailejón alto (Espeletia chocontana, 6,19%)

Gráfica 9. Abundancia de familias en el herbazal denso de tierra firme



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Análisis de diversidad

Los índices de diversidad calculados para las diferentes coberturas se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Índices de diversidad de vegetación en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá

Cobertura*	No. Especies	No. Individuos	Dominancia Simpson (D)	Diversidad Simpson (1-D)	Diversidad Shannon-Wiener (H)	Uniformidad (J)
BDATF	16	100	0,118	0,882	2,383	0,859
HDTF	39	759	0,204	0,796	2,310	0,631

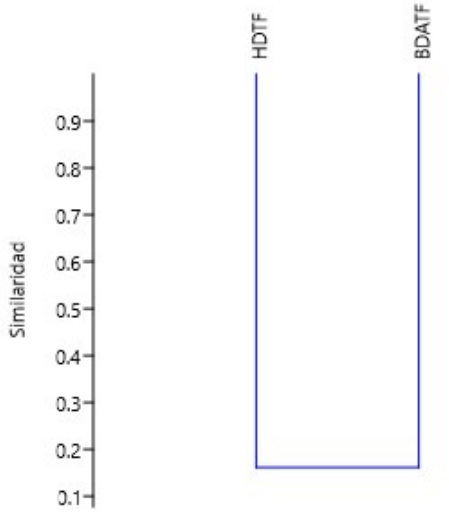
* BDATF: Bosque denso alto de tierra firme; HDTF: Herbazal denso de tierra firme.

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Para todos los índices calculados, el bosque denso alto de tierra firme presentó los mayores valores, a pesar de que en el herbazal hay una mayor cantidad tanto de individuos como de especies. Esto tiene que ver con el hecho de que las tres especies más abundantes en el herbazal (frailejones) suman un 63,90% de todos los registros, lo que representa una alta dominancia de pocas especies en esta cobertura y por lo tanto una menor diversidad.

En cuanto al análisis de agrupamiento de las coberturas según las especies presentes en cada una de ellas, el resultado se presenta en la Gráfica 10 Las dos coberturas se unen con valores de similaridad muy bajos, por debajo del 20%. Esto es un reflejo de que las dos coberturas consideradas comparten apenas 8 especies (menos del 18%), lo cual es apenas natural considerando que se está comparando una cobertura de bosque con un páramo.

Gráfica 10. Análisis de agrupamiento de la flora del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá. Índice de similaridad de Jaccard y agrupamiento UPGMA



* BDATF: Bosque denso alto de tierra firme; HDTF: Herbazal denso de tierra firme.
Fuente.ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBYACÁ.

Tabla 10. Especies de flora reportadas en el SiB para el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí – Ocetá

Clase	Orden	Familia	Especie
Ascomycetes	Lecanorales	Cladoniaceae	Cladonia furcata
			Cladonia sp
Bryopsida	Bryales	Bartramiaceae	Bartramia angustifolia
			Bartramia sp
			Breutelia allionii
			Breutelia chrysea
			Breutelia karsteniana
			Breutelia sp

			Breutelia polygastrica
			Breutelia trianae
			Philonotis sp
		Bryaceae	Bryaceae sp
			Bryum argenteum
			Bryum sp
			Pohlia sp
		Mniaceae	Mnium sp
	Dricranales	Dicranaceae	Campylopus areodictyon
			Campylopus argyrocaulon
			Campylopus incertus
			Campylopus sp
			Campylopus reflexisetus
			Campylopus subconcolor
			Chorisodontium speciosum
			Pilopogon peruvianus
			Pilopogon pilifer
		Ditrichaceae	Ceratodon sp
			Ceratodon stenocarpus
	Grimmiales	Grimmiaceae	Racomitrium crispipilum
			Racomitrium crispulum
			Racomitrium sp
	Hypnales	Brachytheciaceae	Brachythecium alboflavens
			Brachythecium cirriphylloides
			Brachythecium sp
			Brachythecium rutabulum
			Brachythecium stereopoma
			Meteoridium remotifolium
			Rhynchostegium scariosum
		Hylocomiaceae	Pleurozium schreberi
		Hypnaceae	Hypnum amabile
			Hypnum sp
			Mittenothamnium sp
		Lembophyllaceae	Pilotrichella flexilis
		Leskeaceae	Leskeadelphus bolivianus
			Leskeadelphus catenulatulus
		Plagiotheciaceae	Plagiotheciaceae sp
			Plagiothecium sp
		Sematophyllaceae	Sematophyllum sp

		Thuidiaceae	Thuidiaceae sp
			Thuidium delicatulum
			Thuidium sp
			Thuidium peruvianum
	Leucodontales	Catagoniaceae	Catagonium brevicaudatum
		Neckeraceae	Neckera sp
			Porotrichum sp
		Phyllogoniaceae	Eucatagonium sp
	Orthotrichales	Hedwigiaceae	Hedwigidium integrifolium
		Orthotrichaceae	Macromitrium sp
			Zygodon sp
	Polytrichales	Polytrichaceae	Polytrichadelphus purpureus
			Polytrichum juniperinum
	Pottiales	Calymperaceae	Syrrhopodon incompletus
		Pottiaceae	Bryoerythrophyllum jamesonii
			Didymodon laevigatus
			Leptodontium capituligerum
			Leptodontium flexifolium
			Leptodontium sp
			Leptodontium viticulosoides
			Leptodontium wallisii
			Tortula sp
Charophyceae	Charales	Characeae	Nitella flexilis
Cladi	Poales	Poaceae	Calamagrostis effusa
Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	Espeletia incana
			Espeletia lopezii
			Mutisia clematis
	Equisetales	Equisetaceae	Equisetum bogotense
	Ericales	Ericaceae	Disterigma empetrifolium
	Lamiales	Lamiaceae	Salvia melaleuca
		Verbenaceae	Lippia hirsuta
	Ranunculales	BERBERIDACEAE	Berberis sp
	Saxifragales	Haloragaceae	Myriophyllum aquaticum
			Myriophyllum quitense
Eudicotyledoneae	Fabales	Fabaceae	Caesalpinia spinosa
Filicopsida	Polypodiales	Aspleniaceae	Asplenium feei
Isoetopsida	Isoetales	Isoetaceae	Isoetes boyacensis
Jungermanniopsida	Jungermanniales	Lepidoziaceae	Bazzania stolonifera
		Plagiochilaceae	Plagiochila sp

			Plagiochila oblongo-trigona
			Plagiochilaceae sp
		Scapaniaceae	Anastrophyllum auritum
	Metzgeriales	Aneuraceae	Aneuraceae sp
			Riccardia sp
	Porellales	Frullaniaceae	Frullania sp
			Frullaniaceae sp
Lecanoromycetes	Lecanorales	Cladoniaceae	Cladia aggregata
			Cladonia andesita
			Cladonia arbuscula
			Cladonia arcuata
			Cladonia chlorophaea
			Cladonia confusa
			Cladonia didyma
			Cladonia isabellina
			Cladonia macilenta
			Cladonia microscypha
			Cladonia rangiferina
			Cladonia squamosa
			Cladonia subsquamosa
		Lecanoraceae	Tephromela atra
		Parmeliaceae	Cetraria sp
			Hypotrachyna pulvinata
			Oropogon loxensis
			Usnea sp
			Xanthoparmelia sp
	Lecideales	Lecideaceae	Lecidea sp
	Ostropales	Thelotremataceae	Diploschistes cinereocaesius
	Peltigerales	Lobariaceae	Lobaria sp
		Peltigeraceae	Peltigera polydactyla
			Peltigera pulverulenta
	Pertusariales	Icmadophilaceae	Siphula fastigiata
			Thamnolia vermicularis
	Teloschistales	Physciaceae	Heterodermia comosa
		Teloschistaceae	Teloschistes flavicans
Liliopsida	Alismatales	Araceae	Spirodela intermedia
		Hydrocharitaceae	Egeria densa
	Arales	Araceae	Anthurium sp
			Araceae sp

		Lemnaceae	Lemna minuta
			Spirodela intermedia
	Arecales	Arecaceae	Geonoma orbignyana
			Geonoma solitaria
	Asparagales	Iridaceae	Iridaceae sp
		Orchidaceae	Masdevallia sp
	Bromeliales	Bromeliaceae	Greigia sp
			Puya bicolor
			Puya goudotiana
			Puya nitida
			Puya santosii
			Tillandsia brunonis
			Tillandsia incarnata
			Tillandsia suescana
	Commelinales	Commelinaceae	Tripogandra multiflora
		Xyridaceae	Xyris sp
	Cyperales	Cyperaceae	Bulbostylis sp
			Carex bonplandii
			Carex jamesonii
			Carex sp
			Carex pichinchensis
			Carex purdiei
			Carex tristicha
			Cyperaceae sp
			Cyperus rufus
			Eleocharis macrostachya
			Eleocharis sp
			Eleocharis palustris
			Eleocharis stenocarpa
			Oreobolus cleefii
			Oreobolus goeppingeri
			Oreobolus sp
			Oreobolus venezuelensis
			Rhynchospora sp
			Rhynchospora ruiziana
			Schoenoplectus californicus
			Scirpus sp
			Uncinia phleoides
		Poaceae	Aciachne acicularis

			Agrostis mertensii
			Agrostis sp
			Agrostis tolucensis
			Agrostis trichodes
			Anthoxanthum odoratum
			Aulonemia sp
			Aulonemia trianae
			Brachypodium mexicanum
			Bromus sp
			Bromus pitensis
			Calamagrostis effusa
			Calamagrostis sp
			Calamagrostis planifolia
			Chusquea sp
			Chusquea scandens
			Chusquea subtessellata
			Chusquea tessellata
			Cortaderia nitida
			Cortaderia sp
			Dactylis glomerata
			Danthonia sp
			Elymus cordilleranus
			Festuca andicola
			Festuca boyacensis
			Festuca cleefiana
			Festuca colombiana
			Festuca cundinamarcae
			Festuca dolichophylla
			Festuca monguensis
			Festuca sp
			Glyceria sp
			Holcus lanatus
			Jarava ichu
			Lorenzochloa sp
			Muhlenbergia sp
			Nassella brachyphylla
			Neurolepis sp
			Ortachne erectifolia
			Paspalum bonplandianum

			Paspalum sp
			Paspalum trianae
			Phalaris arundinacea
			Phalaris minor
			Phalaris sp
			Piptochaetium panicoides
			Piptochaetium stipoides
			Poa sp
			Poa orthophylla
			Poaceae sp
			Polypogon interruptus
			Setaria parviflora
			Sporobolus lasiophyllus
			Stipa sp
			Trisetum sp
			Vulpia sp
	Eriocaulales	Eriocaulaceae	Paepalanthus sp
	Juncales	Juncaceae	Juncus bufonius
			Juncus densiflorus
			Juncus ecuadoriensis
			Juncus effusus
			Juncus microcephalus
			Juncus sp
			Juncus ramboi
			Luzula gigantea
			Luzula racemosa
	Liliales	Alstroemeriaceae	Bomarea sp
		Dioscoreaceae	Dioscorea sp
		Iridaceae	Orthrosanthus chimboracensis
		Melanthiaceae	Isidrogalvia sessiliflora
	Orchidales	Orchidaceae	Araceae sp
			Cyatheaceae sp
			Elleanthus ensatus
			Elleanthus maculatus
			Epidendrum chioneum
			Epidendrum erosum
			Epidendrum gastropodium
			Epidendrum klotzscheanum
			Epidendrum macrostachyum

			Epidendrum sp
			Epidendrum oxysepalum
			Epidendrum secundum
			Fernandezia sanguinea
			Gomphichis sp
			Habenaria entomantha
			Lepanthes sp
			Lycaste longipetala
			Malaxis fastigiata
			Odontoglossum ixioides
			Oncidium sp
			Oncidium ornithorhynchum
			Oncidium pyramidale
			Orchidaceae sp
			Pachyphyllum sp
			Pleurothallis bivalvis
			Pleurothallis galeata
			Pleurothallis sp
			Pleurothallis trianae
			Stelis argentata
			Stelis sp
			Stenorrhynchos albidomaculatum
	Poales	Poaceae	Alopecurus aequalis
Lycopodiopsida	Lycopodiales	Lycopodiaceae	Diphasiastrum thyoides
			Huperzia crassa
			Huperzia sp
			Huperzia ocanana
			Lycopodiella alopecuroides
			Lycopodiella matthewsii
			Lycopodium clavatum
			Lycopodium sp
			Lycopodium thyoides
			Phlegmariurus brevifolius
			Phlegmariurus hippurideus
			Phlegmariurus sp
			Phlegmariurus reflexus
Lycopsida	Lycopodiales	Lycopodiaceae	Phlegmariurus reflexus
Magnoliopsida	Apiales	Apiaceae	Arracacia sp
			Azorella crenata

			Eryngium humboldtii
			Hydrocotyle bonplandii
			Hydrocotyle gunnerifolia
			Hydrocotyle ranunculoides
			Hydrocotyle steyermarkii
			Lilaeopsis schaffneriana
			Niphogeton sp
		Araliaceae	Hydrocotyle ranunculoides
			Oreopanax acerifolius
			Oreopanax bogotensis
			Oreopanax ellsworthii
	Aquifoliales	Aquifoliaceae	Ilex kunthiana
	Asterales	Asteraceae	Achyrocline lehmannii
			Achyrocline sp
			Acmella mutisii
			Ageratina elegans
			Ageratina fastigiata
			Ageratina glyptophlebia
			Ageratina gracilis
			Ageratina mutiscuensis
			Ageratina sp
			Ageratina theaefolia
			Ageratina tinifolia
			Ageratum conyzoides
			Alloispermum caracasanum
			Ambrosia arborescens
			Antennaria gnaphalioides
			Asplundianthus arcuans
			Asteraceae sp
			Baccharis breviseta
			Baccharis latifolia
			Baccharis prunifolia
			Baccharis tricuneata
			Barnadesia spinosa
			Bidens laevis
			Bidens sp
			Bidens rubifolia
			Chaptalia exscapa
			Conyza trihecatactis

			Conyza uliginosa
			Cotula coronopifolia
			Culcitium canescens
			Dasyphyllum colombianum
			Diplostephium phylicoides
			Diplostephium revolutum
			Diplostephium rosmarinifolius
			Diplostephium tenuifolium
			Erato vulcanica
			Erechtites valerianifolia
			Espeletia annemariana
			Espeletia boyacensis
			Espeletia brachyaxiantha
			Espeletia congestiflora
			Espeletia incana
			Espeletia lopezii
			Espeletia nemekenei
			Espeletia sp
			Espeletia oswaldiana
			Espeletia pescana
			Espeletia rositae
			Espeletia tunjana
			Espeletiopsis guacharaca
			Espeletiopsis jimenez-quesadae
			Eupatorium sp
			Gamochaeta americana
			Gnaphalium pulchrum
			Gynoxys trianae
			Heterosperma pinnatum
			Hieracium avilae
			Hieracium sp
			Hypochaeris radicata
			Hypochaeris sessiliflora
			Jaegeria axillaris
			Jaegeria hirta
			Jungia sp
			Lepidaploa karstenii
			Lourteigia stoechadifolia
			Mikania granulata

			Mikania laurifolia
			Munnozia senecionidis
			Mutisia clematis
			Mutisia sp
			Noticastrum marginatum
			Oritrophium peruvianum
			Pentacalia abietina
			Pentacalia albipanquei
			Pentacalia andicola
			Pentacalia corymbosa
			Pentacalia haughtii
			Pentacalia ledifolia
			Pentacalia nitida
			Pentacalia sp
			Pentacalia pulchella
			Pentacalia vaccinioides
			Plagiocheilus bogotensis
			Pluchea biformis
			Scrobicaria ilicifolia
			Scrobicaria sp
			Senecio formosus
			Senecio sp
			Sigesbeckia jorullensis
			Smallanthus pyramidalis
			Stevia lucida
			Tagetes zypaquerensis
			Vasquezia anemonifolia
			Verbesina baccharidea
			Verbesina centroboyacana
			Verbesina elegans
			Verbesina sp
	Campanulales	Campanulaceae	Centropogon asclepiadeus
			Lobelia tenera
			Siphocampylus sp
	Capparales	Brassicaceae	Raphanus sativus
	Caryophyllales	Amaranthaceae	Iresine celosia
		Caryophyllaceae	Arenaria lanuginosa
			Drymaria cordata
			Paronychia argentea

		Phytolaccaceae	Phytolacca bogotensis
			Phytolacca sp
	Celastrales	Aquifoliaceae	Ilex kunthiana
	Dipsacales	Adoxaceae	Sambucus nigra
		Caprifoliaceae	Viburnum sp
			Viburnum triphyllum
		Valerianaceae	Poaceae sp
			Valeriana clematitis
			Valeriana sp
			Valeriana pavonii
			Valeriana triphylla
	Ebenales	Symplocaceae	Symplocos lehmannii
			Symplocos sp
			Symplocos theiformis
	Ericales	Clethraceae	Clethra fagifolia
			Clethra fimbriata
			Clethra sp
		Ericaceae	Befaria resinosa
			Bejaria sp
			Bejaria resinosa
			Disterigma empetrifolium
			Ericaceae sp
			Gaultheria anastomosans
			Gaultheria erecta
			Gaultheria lanigera
			Gaultheria rigida
			Gaultheria strigosa
			Gaylussacia buxifolia
			Macleania sp
			Macleania rupestris
			Pernettya prostrata
			Plutarchia coronaria
			Psammisia sp
			Vaccinium floribundum
			Vaccinium sp
		Lecythidaceae	Eschweilera coriacea
		Marcgraviaceae	Marcgraviaceae sp
	Eriocaulales	Eriocaulaceae	Paepalanthus dendroides
			Paepalanthus karstenii

			Paepalanthus lodiculoides
			Paepalanthus sp
			Paepalanthus pilosus
	Euphorbiales	Euphorbiaceae	Euphorbia orbiculata
			Hieronyma rufa
	Fabales	Fabaceae	Acacia decurrens
			Cytisus scoparius
			Fabaceae sp
			Genista monspessulana
			Lupinus colombiensis
			Lupinus sp
			Lupinus tolimensis
			Otholobium mexicanum
			Trifolium amabile
			Trifolium micranthum
			Trifolium pratense
	Fagales	Betulaceae	Alnus jorullensis
	Gentianales	Apocynaceae	Asclepias sp
		Asclepiadaceae	Asclepiadaceae sp
			Cynanchum tenellum
			Ditassa longiloba
		Gentianaceae	Gentiana sp
			Gentianella sp
			Halenia adpressa
			Halenia asclepiadea
			Halenia gentianoides
			Halenia sp
	Geraniales	Geraniaceae	Geraniaceae sp
			Geranium lainzii
			Geranium multiceps
			Geranium sp
			Geranium sibbaldioides
			Pelargonium graveolens
		Oxalidaceae	Oxalis corniculata
			Oxalis pubescens
	Halogarales	Haloragaceae	Myriophyllum aquaticum
			Myriophyllum quitense
	Haloragales	Haloragaceae	Myriophyllum sp
	Hydrocharitales	Hydrocharitaceae	Elodea granatensis

	Lamiales	Bignoniaceae	Tecoma stans
		Boraginaceae	Boraginaceae sp
		Lamiaceae	Lepechinia salviifolia
			Salvia melaleuca
			Salvia sp
		Plantaginaceae	Digitalis purpurea
		Scrophulariaceae	Aragoa cleefii
			Aragoa cundinamarcensis
			Aragoa dugandii
			Bartsia laniflora
			Castilleja fissifolia
			Castilleja integrifolia
		Verbenaceae	Duranta mutisii
			Verbena hispida
	Liliales	Alstroemeriaceae	Bomarea angustipetala
			Bomarea sp
			Bomarea setacea
	Magnoliales	Winteraceae	Drimys granadensis
	Malpighiales	Euphorbiaceae	Alchornea coelophylla
	Malvales	Elaeocarpaceae	Vallea stipularis
		Malvaceae	Malvaceae sp
			Sida poeppigiana
	Myricales	Myricaceae	Morella parvifolia
			Morella pubescens
	Myrtales	Lythraceae	Cuphea serpyllifolia
		Melastomataceae	Brachyotum sp
			Brachyotum strigosum
			Bucquetia glutinosa
			Castratella piloselloides
			Melastomataceae sp
			Miconia buxifolia
			Miconia cleefii
			Miconia denticulata
			Miconia elaeoides
			Miconia gleasoniana
			Miconia jahnii
			Miconia ligustrina
			Miconia sp
			Miconia salicifolia

			Miconia squamulosa
			Miconia stipularis
			Miconia summa
			Miconia theizans
			Miconia wurdackii
			Monochaetum myrtoideum
			Tibouchina grossa
			Tibouchina lepidota
			Tibouchina urvilleana
		Myrtaceae	Eugenia foliosa
			Eugenia sp
			Myrcianthes sp
			Myrcianthes rhopaloides
		Onagraceae	Fuchsia magellanica
			Fuchsia sp
			Ludwigia peploides
			Oenothera multicaulis
	Piperales	Chloranthaceae	Hedyosmum bonplandianum
		Piperaceae	Peperomia microphylla
			Peperomia saligna
			Peperomia tequendamana
			Piper artanthe
			Piper cinereum
	Plantaginales	Plantaginaceae	Plantago australis
			Plantago sp
	Polygalales	Polygalaceae	Monnina sp
			Monnina salicifolia
	Polygonales	Polygonaceae	Muehlenbeckia tamnifolia
			Polygonum sp
			Polygonum punctatum
			Rumex obtusifolius
	Primulales	Myrsinaceae	Cybianthus iteoides
			Geissanthus andinus
			Geissanthus sp
			Myrsine dependens
			Myrsine sp
		Primulaceae	Anagallis arvensis
	Ranunculales	Berberidaceae	Berberis monguiensis
			Berberis sp

			Berberis rigidifolia
			Berberis tabiensis
		Ranunculaceae	Ranunculus nubigenus
			Ranunculus sp
	Rhamnales	Rhamnaceae	Rhamnus goudotiana
	Rosales	Brunelliaceae	Brunellia colombiana
			Brunellia comocladifolia
			Brunellia sp
		Crassulaceae	Echeveria sp
		Cunoniaceae	Weinmannia anisophylla
			Weinmannia balbisiana
			Weinmannia fagaroides
			Weinmannia macrophylla
			Weinmannia microphylla
			Weinmannia sp
			Weinmannia pinnata
			Weinmannia rollottii
		Grossulariaceae	Escallonia myrtilloides
			Escallonia sp
			Ribes bogotanum
		Rosaceae	Acaena cylindristachya
			Hesperomeles ferruginea
			Hesperomeles goudotiana
			Hesperomeles sp
			Hesperomeles obtusifolia
			Hesperomeles pernettyoides
			Holodiscus argenteus
			Holodiscus sp
			Lachemilla fulvescens
			Lachemilla nivalis
			Prunus buxifolia
			Prunus sp
			Rubus acanthophyllos
			Rubus macrocarpus
			Rubus nubigenus
			Rubus sp
			Rubus robustus
	Rubiales	Rubiaceae	Arcytophyllum muticum
			Arcytophyllum nitidum

			Borreria sp
			Borreria ocymoides
			Galianthe bogotensis
			Galium corymbosum
			Galium hypocarpium
			Galium sp
			Galium obovatum
			Nertera granadensis
			Palicourea apicata
			Palicourea aschersonianoides
			Palicourea sp
			Psychotria amita
			Psychotria sp
	Santalales	Loranthaceae	Aetanthus colombianus
			Gaiadendron sp
			Loranthaceae sp
	Sapindales	Meliaceae	Guarea sp
			Trichilia pallida
	Saxifragales	Haloragaceae	Myriophyllum aquaticum
	Scrophulariales	Buddlejaceae	Buddleja bullata
			Buddleja incana
		Gesneriaceae	Columnea strigosa
		Scrophulariaceae	Alonsoa meridionalis
			Aragoa sp
			Bartsia sp
			Bartsia santolinifolia
			Calceolaria sp
			Castilleja fissifolia
			Castilleja integrifolia
			Castilleja sp
			Mimulus glabratus
			Scrophulariaceae sp
			Veronica persica
	Solanales	Solanaceae	Cestrum buxifolium
			Cestrum mutisii
			Cestrum sp
			Deprea orinocensis
			Salpichroa tristis
			Solanum americanum

			Solanum callianthum
			Solanum caripense
			Solanum sp
			Solanum oblongifolium
			Solanum paucijugum
			Solanum tabanoense
	Theales	Clusiaceae	Clusia alata
			Clusia elliptica
			Clusia sp
			Hypericum prostratum
		Hypericaceae	Hypericum brathys
			Hypericum cardonae
			Hypericum garciae
			Hypericum humboldtianum
			Hypericum juniperinum
			Hypericum laricifolium
			Hypericum lycopodioides
			Hypericum myricariifolium
			Hypericum sp
	Urticales	Urticaceae	Urtica ballotifolia
	Violales	Begoniaceae	Begonia ferruginea
			Begonia urticae
		Passifloraceae	Passiflora mixta
Polypodiopsida	Cyatheales	Culcitaceae	Culcita coniifolia
		Cyatheaceae	Cyathea caracasana
			Cyathea sp
			Cyatheaceae sp
		Dicksoniaceae	Dicksonia sellowiana
	Gleicheniales	Gleicheniaceae	Gleichenia revoluta
	Hymenophyllales	Hymenophyllaceae	Hymenophyllum fucoides
			Hymenophyllum sp
			Hymenophyllum polyanthos
			Hymenophyllum tomentosum
	Polypodiales	Aspleniaceae	Asplenium auriculatum
			Asplenium cirrhatum
			Asplenium feei
			Asplenium harpeodes
			Asplenium monanthes
			Asplenium sp

			Asplenium polyphyllum
			Asplenium praemorsum
			Asplenium salicifolium
			Asplenium serra
			Asplenium sessilifolium
		Blechnaceae	Blechnum columbiense
			Blechnum cordatum
			Blechnum loxense
			Blechnum sp
			Blechnum schomburgkii
		Dennstaedtiaceae	Histiopteris incisa
			Hypolepis purdieana
			Pteridium arachnoideum
		Dryopteridaceae	Dryopteris wallichiana
			Elaphoglossum affine
			Elaphoglossum castaneum
			Elaphoglossum engelii
			Elaphoglossum eximium
			Elaphoglossum latifolium
			Elaphoglossum lingua
			Elaphoglossum mathewsii
			Elaphoglossum sp
			Elaphoglossum ramosissimun
			Elaphoglossum revolvens
			Elaphoglossum rupestre
			Elaphoglossum vagans
			Megalastrum subincisum
			Polybotrya hickeyi
			Polybotrya osmundacea
			Polybotrya polybotryoides
			Polystichum cochleatum
			Polystichum lehmannii
			Polystichum nudicaule
			Polystichum sp
			Polystichum orbiculatum
			Polystichum polyphyllum
		Grammitidaceae	Grammitis sp
		Polypodiaceae	Ascogrammitis sp
			Campyloneurum densifolium

			Campyloneurum leucorhizon
			Campyloneurum vexatum
			Cyperaceae sp
			Melpomene anfractuosa
			Melpomene assurgens
			Melpomene flabelliformis
			Melpomene moniliformis
			Melpomene pilosissima
			Melpomene wolfii
			Melpomene xiphopteroides
			Niphidium sp
			Pecluma sp
			Polypodium angustifolium
			Polypodium lanceolatum
			Polypodium mindense
			Polypodium monosorum
			Polypodium murorum
			Serpocaulon eleutherophlebium
		Thelypteridaceae	*Thelypteris lindigii*
			Thelypteris sp
			Thelypteris pteroidea
		Woodsiaceae	*Cystopteris fragilis*
	Pteridales	Adiantaceae	*Jamesonia alstonii*
			Jamesonia sp
	Salviniales	Salviniaceae	*Azolla filiculoides*
Pteridopsida	Marsileales	Salviniaceae	*Azolla filiculoides*
	Polypodiales	Gleicheniaceae	*Gleichenia revoluta*
		Grammitidaceae	*(en blanco)*
		Hymenophyllaceae	*Hymenophyllum endiviifolium*
			Hymenophyllum tomentosum
		Lomariopsidaceae	*(en blanco)*
		Polypodiaceae	*Adiantum patens*
			Arachniodes leucostegioides
			Asplenium cirrhatum
			Asplenium harpeodes
			Asplenium praemorsum
			Asplenium sessilifolium
			Blechnum loxense
			Campyloneurum angustifolium

			Cystopteris fragilis
			Pellaea ternifolia
			Polypodium angustifolium
			Polypodium lanceolatum
			Polypodium mindense
			Polypodium murorum
			Polystichum montevidense
			Thelypteris lindigii
	Pteridales	Pteridaceae	*Adiantum patens*
			Jamesonia sp
			Pellaea ternifolia
			Radiovittaria gardneriana
Selaginellopsida	Selaginellales	Selaginellaceae	*Selaginella diffusa*
Sphagnopsida	Sphagnales	Sphagnaceae	*Sphagnum cyclophyllum*
			Sphagnum magellanicum
			Sphagnum sancto-josephense

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Conectividad Ecológica

Teniendo en cuenta el estudio realizado por CORPOBOYACÁ, se obtiene la determinación de las coberturas vegetales en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá, se realizó una clasificación que diferenció entre coberturas naturales (bosque denso alto de tierra firme, bosque denso bajo de tierra firme, herbazal denso de tierra firme y lagunas, lagos y ciénagas naturales) y coberturas transformadas (mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos y tejido urbano continuo). Un 5,66% de la imagen del PNR se encuentra cubierta por nubes y sombras, por lo cual no se consideró dentro de las coberturas naturales ni transformadas. Se considera que las coberturas naturales permiten el flujo de biota entre sus fragmentos, mientras que las coberturas transformadas lo impiden. La Tabla 11. presenta esta clasificación de coberturas.

Tabla 11. Clasificación de coberturas para el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá.

Cobertura según Corine Land Cover	Tipo de cobertura	Superficie en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá (ha)	Porcentaje (%)
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Natural	19.437,63	39,06
Bosque Denso Bajo de Tierra Firme			
Herbazal Denso de Tierra Firme			
Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales			
Mosaico de Cultivos y Espacios Naturales	Transformada	27.511,53	55,28
Mosaico de Pastos y Cultivos			
Tejido Urbano Continuo			

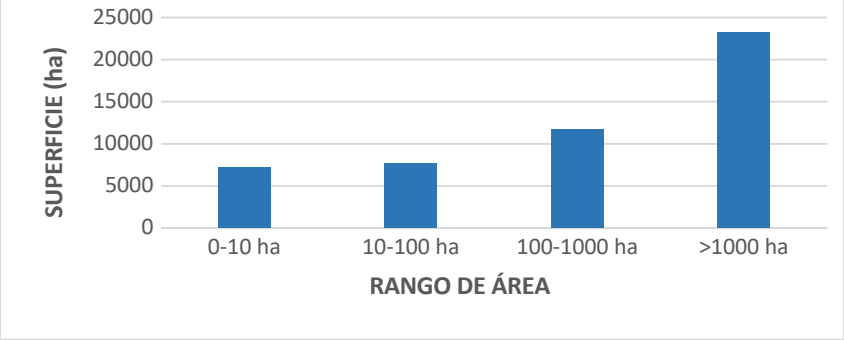
Nubes y sombras	Indeterminada	2.817,02	5,66
TOTAL		28.911,93	100,00

Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Una vez elaborada la anterior clasificación, se estableció que las coberturas naturales de la RFP se encuentran distribuidas en 7.432 fragmentos, de los cuales 9 tienen más de 1000 ha (23.180,86 ha en total, 87,19% de la totalidad de coberturas naturales), 41 cubren entre 100 y 1000 ha (11.696,78 ha en total, 44,00%), 293 cubren entre 10 y 100 ha (7.656,95 ha en total, 28,80%) y los 7.089 restantes cubren menos de 10 ha (7.231,58 ha en total, 27,20%) (Gráfica 11).

Para el análisis de conectividad se utilizó el software Fragstats 4.2.1 (McGarigal & Ene, 2013), a través del cual se calcularon las siguientes variables de paisaje para cada una de las coberturas naturales de la RFP: índice medio de proximidad, distancia media entre fragmentos (Euclidiana), índice medio de forma, índice del fragmento más grande, índice de conectividad (radio de 250 m) y densidad de borde. En la Tabla 12 se resumen los resultados de cada variable de paisaje utilizada.

Gráfica 11 Superficie de las coberturas naturales del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá según rangos de tamaño



Fuente. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Tabla 12. Variables de paisaje para el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá

COBERTURA	ÁREA (ha)	IMP	DMF	IMF	IFG	IC	DB
Bosque denso alto de tierra firme	1.451,74	374,65	156,28	1,56	3,30	0,88	7,78
Bosque denso bajo de tierra firme	1.624,16	143,47	108,84	1,55	0,94	0,32	8,03
Herbazal denso de tierra firme	16.360,50	6.788,05	68,82	1,54	22,98	0,25	0,38
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,20	0,00	---	1,00	0,00	0,00	0,00

Fuente.ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PARQUE NATURAL REGIONAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SISCUNSÍ OCETÁ, CORPOBOYACÁ.

Índices evaluados

Índice medio de proximidad

Considera el tamaño y la proximidad de todos los fragmentos de la misma cobertura que se encuentran a una distancia específica de un fragmento dado. Calcula un valor medio entre todos los

valores de los fragmentos individuales de una misma cobertura; un valor alto indica una alta conectividad entre los fragmentos de la misma cobertura.

El mayor valor lo presenta el herbazal denso de tierra firme, indicando que los fragmentos de esta cobertura son grandes y se encuentran cercanos entre sí. Los demás valores son bastante más bajos, lo que indica que los fragmentos de las otras coberturas son pequeños y se encuentran alejados entre sí, principalmente los bosques densos alto y bajo de tierra firme. Para los cuerpos de agua (lagunas, lagos y ciénagas naturales), como solamente se presenta un fragmento, el valor de este índice es 0.

Distancia media entre fragmentos (Euclidiana)

Mide la distancia entre fragmentos de la misma cobertura, basada en la distancia entre bordes más corta. Entre más alto sea el valor del índice, más alejados se encuentran fragmentos de la misma cobertura.

El resultado para el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá es que el bosque denso alto de tierra firme es el que presenta la distancia media más grande, seguido por el bosque denso bajo de tierra firme. El valor más bajo es el del herbazal denso de tierra firme, lo que corrobora el análisis hecho para el índice medio de proximidad. Las superficies de agua solo presentan un fragmento, por lo cual no presentan un valor para este indicador.

Índice medio de forma

Mide la forma de cada fragmento y lo compara con un fragmento compacto hipotético (entre más compacto, más superficie contiene por unidad de perímetro). El valor para el fragmento hipotético más compacto posible es de 1 y aumenta en la medida en que la forma es menos compacta.

Los valores para las tres coberturas naturales son muy similares entre sí, indicando que sus formas son relativamente compactas, lo cual se relaciona principalmente con su gran extensión y la forma de sus fragmentos individuales.

Índice del fragmento más grande

Este índice representa el porcentaje que cubre el fragmento más grande de una cobertura dada. Su valor va de 0 a 100%. Se observa que el herbazal denso de tierra firme presentó el mayor valor, bastante por encima de las demás coberturas, lo que indica que su fragmento más grande alcanza el 22,98% de todos los fragmentos de esa cobertura. Los demás valores no superan el 3,5%.

Índice de conectividad

Considera el número de conexiones funcionales entre fragmentos de la misma cobertura; cada par de fragmentos se considera conectado o no con base en una distancia específica establecida, que para este caso fue de 250 metros. Se asume que esta distancia es la máxima que debe existir entre fragmentos para asegurar la posibilidad de flujo de materia y energía entre ellos, teniendo en cuenta las características ambientales del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá. Sus valores van de 0 a 100, que indican ausencia total de conexiones (a la distancia especificada) o que todos los fragmentos de la misma cobertura se encuentran conectados, respectivamente. El valor más alto lo presenta el bosque denso alto de tierra firme, pero es de apenas de 22,98, lo cual indica que solo el

22,98% de los parches están conectados a menos de 250m. El valor más bajo (mayor desconexión) lo presenta el herbazal denso de tierra firme.

Densidad de borde

Esta variable representa la longitud del borde por cada unidad de área de cada fragmento en metros por hectárea. Su valor va de cero hasta infinito. El mayor valor lo presenta el bosque denso bajo de tierra firme, indicando que sus fragmentos presentan más borde por hectárea de toda el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá que los demás. Esto es consistente con la gran cantidad de parches y la gran superficie de esta cobertura.

De todo lo anterior se puede afirmar que el herbazal denso de tierra firme abarca la mayor superficie del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá y presenta los mayores valores de proximidad, de fragmento más grande y de forma, lo cual es consecuente con los ecosistemas presentes en el área protegida.

Los resultados de los índices considerados, sin embargo, no deben distraer la atención del hecho de que la mayoría de la superficie del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá está cubierta por coberturas transformadas. Esto va en contravía de los objetivos de conservación, por lo cual el plan de manejo debe considerar las acciones necesarias para lograr el cumplimiento de dichos objetivos.

Conectividad regional

Al considerar el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá y analizar su posible conectividad con áreas protegidas del orden regional y nacional, se encuentra que la misma se encuentra a aproximadamente 5,2 km del Parque Nacional Natural (PNN) Pisba en el municipio de Socotá. Esta área protegida tiene una extensión de 45.000 ha

Otras áreas protegidas de diferente orden que se encuentran cerca del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí - Ocetá son el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Lago de Sochagota (306.000 ha) y el PNR Cortadera (45.000 ha) a unos 20 km al occidente y el PNR Pan de Azúcar – El Consuelo (28.909 ha) a 27 km al nororiente.

A esta escala, hablar de conectividad es algo bastante irreal, porque las distancias son demasiado grandes para el intercambio de especies, flujo de materia y energía. La única excepción sería el PNN Pisba, por su cercanía y por el hecho de que comparten el mismo ecosistema de páramo.

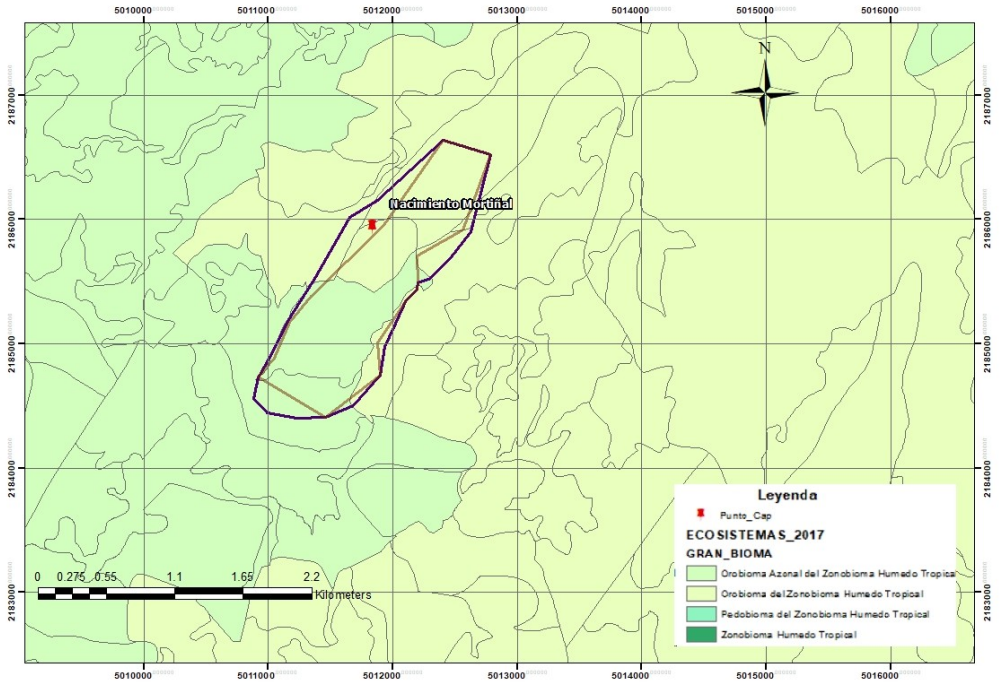
Por otro lado, las zonas intermedias entre estas distintas áreas protegidas no tienen ningún grado de protección, lo cual, junto con la distancia entre ellas, facilita la transformación de estas zonas intermedias en ecosistemas antropomorfizados. A pesar de la presencia de algunas masas boscosas entre algunas de estas áreas protegidas, no existe una garantía real de que estas se vayan a mantener en el futuro, garantizando la conectividad ecológica. Por el contrario, es evidente que estos bosques están siendo fragmentados y transformados en pastos y cultivos, lo cual no favorece tal conectividad.

6.5. ECOSISTEMAS

Se presenta la caracterización del entorno biótico del área de influencia del punto de captación del Acueducto El Montiñal, cuya delimitación se realizó con base en los posibles impactos generados por las actividades correspondientes para la captación y suministro del recurso hídrico.

La identificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos se efectuó desde un enfoque ecológico, tomando como referencia los biomas y unidades ecosistémicas regionales definidos en el Mapa de Ecosistemas Continentales y Marinos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017).

Ilustración 18. Ecosistemas Terrestres.



Fuente. Presente estudio.

De acuerdo con la clasificación ecológica nacional, el área delimitada del predio se encuentra localizada en dos biomas específicos: el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma Azonal del Zonobioma Húmedo Tropical.

El Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, corresponde a ecosistemas localizados en zonas de montaña dentro de regiones húmedas tropicales. Se caracteriza por una alta pluviosidad anual (mayor a 2.000 mm), temperaturas moderadas a bajas que disminuyen con la altitud, y una elevada humedad relativa. En este contexto ecológico predominan los bosques montanos húmedos, que albergan una notable diversidad de especies endémicas, adaptadas a gradientes altitudinales pronunciados y a la presencia frecuente de neblina.

Los ecosistemas que conforman este orobioma cumplen funciones ecológicas críticas, tales como la regulación del ciclo hidrológico, la captación de agua atmosférica (neblina), la protección de suelos frente a la erosión y el soporte de corredores biológicos clave para la conectividad ecosistémica. Además, estos ambientes suelen presentar una alta fragilidad ecológica debido a su sensibilidad a los cambios en el uso del suelo, fragmentación del hábitat y presión antrópica.

De igual manera, el Orobioma Azonal del Zonobioma Húmedo Tropical comprende unidades ecológicas cuya configuración no está determinada únicamente por las condiciones climáticas zonales, sino por factores locales como el relieve, la geología, la presencia de cuerpos de agua, nacimientos o zonas de alta pendiente. Suelen coincidir con zonas de transición ecológica, márgenes de drenajes, nacederos y otras formas de paisaje que generan una alta heterogeneidad ambiental.

El orobioma azonal tiene una importancia particular en la conservación de microhábitats especializados y en el mantenimiento de procesos ecológicos clave como la recarga hídrica, la regulación térmica y la provisión de hábitats para especies altamente adaptadas a condiciones locales. Asimismo, estos espacios suelen albergar vegetación riparia, relictos de bosque y coberturas vegetales adaptadas a condiciones edáficas particulares, lo que les otorga un alto valor para la conservación.

La presencia simultánea de estos dos biomas en el área de estudio implica una alta diversidad ecológica y funcional, así como una elevada sensibilidad ambiental frente a intervenciones antrópicas. Por tanto, la planificación de actividades en el predio debe considerar medidas de conservación y manejo que permitan mantener la integridad de los ecosistemas presentes, garantizar la funcionalidad de los servicios ecosistémicos y prevenir procesos de degradación ambiental.

6.6. COBERTURAS

Para la identificación y delimitación de las distintas unidades de cobertura vegetal presentes en el área de influencia del punto de captación, se aplicó la metodología Corine Land Cover (CLC), una herramienta ampliamente reconocida a nivel internacional para la clasificación del uso y cobertura del suelo. Esta metodología, originalmente desarrollada en Europa por el programa CORINE (Coordination of Information on the Environment), ha sido adaptada y validada para el contexto colombiano por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), lo que permite su aplicación con criterios ajustados a las condiciones biofísicas del país.

El enfoque metodológico Corine Land Cover permite la clasificación jerárquica de las coberturas terrestres mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales, particularmente de sensores ópticos como Landsat, complementado con información cartográfica temática y verificación en campo, cuando es posible. Este análisis se basa en la interpretación de patrones espectrales, texturales y espaciales, así como en criterios morfológicos, estructurales y funcionales de la vegetación y del uso del suelo.

Durante el proceso se consultó información cartográfica secundaria disponible en plataformas oficiales, lo que permitió realizar una interpretación más precisa del mosaico de coberturas presentes en el área. Esta aproximación facilitó la identificación de unidades de cobertura vegetal representativas, tales como bosques naturales, áreas de cobertura secundaria, zonas de uso agropecuario, cuerpos de agua y áreas sin vegetación significativa, entre otras.

La caracterización de estas coberturas resulta fundamental para el diagnóstico ambiental, ya que permite evaluar el estado de conservación del territorio, su grado de intervención y la posible vulnerabilidad de los ecosistemas frente a actividades antrópicas, como la captación de agua, además, sirve como base para orientar medidas de manejo ambiental, planes de compensación ecológica y estrategias de restauración o conservación, en función del valor ecológico y funcional de cada unidad identificada.

En consecuencia, como parte del diagnóstico ambiental del área de influencia del punto de captación para el Acueducto El Montiñal, se realizó la identificación y caracterización de las coberturas del suelo presentes dentro del polígono de intervención, aplicando la metodología Corine Land Cover (CLC), adaptada para Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Esta metodología permite clasificar el uso y la cobertura del suelo a partir de sensores remotos, imágenes satelitales y cartografía temática, generando información confiable sobre el estado y distribución de las coberturas terrestres.

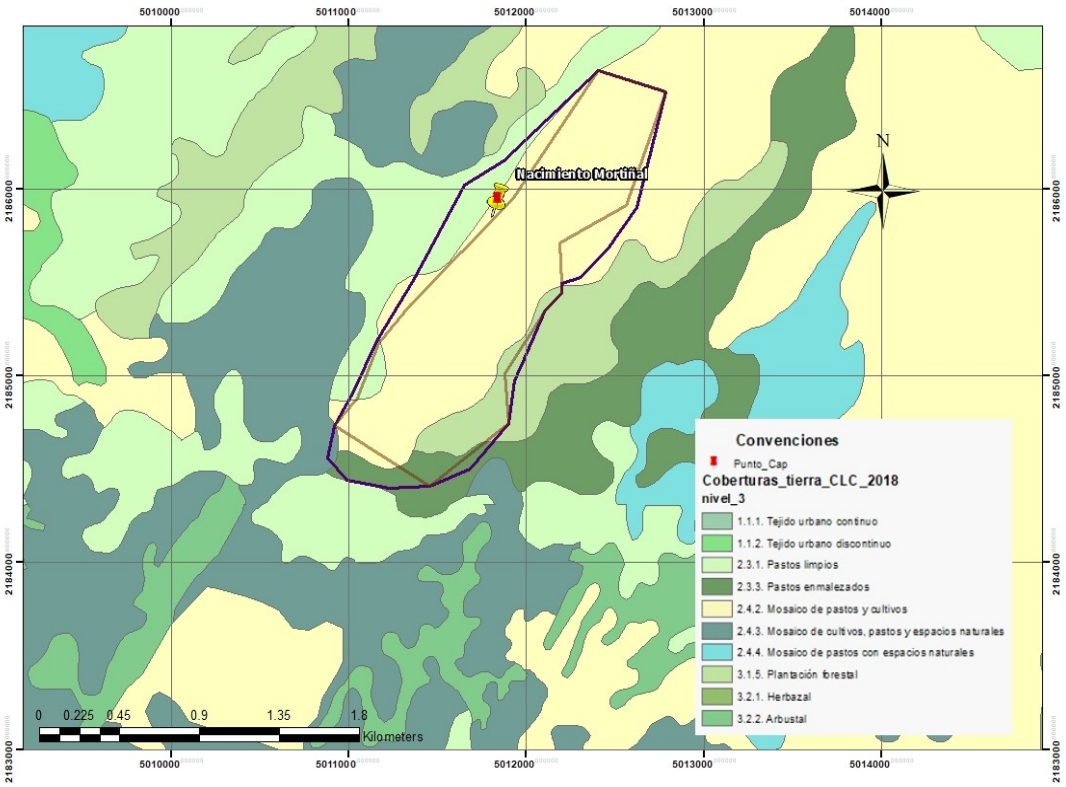
Del análisis espacial se identificaron cuatro unidades de cobertura correspondientes al nivel 3 de la clasificación CLC, que reflejan distintos grados de intervención y uso del territorio. La cobertura predominante corresponde al mosaico de pastos y cultivos (2.4.2), que ocupa una superficie de 142,13 hectáreas, equivalente a aproximadamente el 77% del área total. Esta unidad representa un sistema productivo de uso mixto en el que coexisten actividades agrícolas y ganaderas, configurando un paisaje fragmentado con baja cobertura vegetal natural y fuerte presión sobre los recursos edáficos e hídricos. Su presencia evidencia una alta transformación del ecosistema original, aunque también puede ofrecer oportunidades para prácticas agroecológicas si se implementan medidas de conservación integradas al sistema productivo.

En segundo lugar, se identificaron pastos limpios (2.3.1), con una superficie de 15,20 hectáreas. Esta cobertura responde a áreas ganaderas con uso exclusivo para el pastoreo, donde se ha removido la vegetación natural y se ha establecido una cobertura uniforme de gramíneas. Su estructura simplificada limita la biodiversidad y reduce la capacidad del suelo para sostener procesos ecológicos esenciales como la infiltración de agua, la retención de nutrientes y la provisión de hábitats para la fauna silvestre.

La plantación forestal (3.1.5) ocupa 15,89 hectáreas dentro del área de estudio y está compuesta por formaciones vegetales de origen antrópico, establecidas posiblemente para la producción forestal, protección del suelo o procesos de restauración. Aunque estas plantaciones no reemplazan la funcionalidad ecológica de los bosques naturales, pueden desempeñar un papel importante en la regulación del microclima local, la protección contra la erosión y la conectividad estructural del paisaje, especialmente si incorporan especies nativas o se acompañan de procesos de regeneración natural.

También se registraron pastos enmalezados (2.3.3) en una extensión de 10,75 hectáreas. Esta cobertura corresponde a espacios con vegetación secundaria en estado de sucesión temprana, donde conviven especies herbáceas, arbustivas y gramíneas. Estas áreas pueden derivarse del abandono de suelos agropecuarios o de dinámicas de regeneración espontánea, lo que les confiere cierto valor ecológico como zonas de transición y corredores ecológicos temporales, que facilitan el movimiento de fauna adaptable y la recolonización de especies vegetales nativas.

Ilustración 19. Unidades de cobertura vegetal



Fuente. Presente estudio.

Tabla 13. Unidades de cobertura identificadas.

Nivel_1	Nivel_2	Nivel_3	Área (ha)	Porcentaje (%)
2. Territorios agrícolas	2.3. Pastos	2.3.3. Pastos enmalezados	10.74583	5.84
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.5. Plantación forestal	15.89391	8.64
2. Territorios agrícolas	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios	0.010685	0.01
2. Territorios agrícolas	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios	15.19859	8.26
2. Territorios agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	142.1308	77.25

Fuente. Presente estudio.

El diagnóstico ambiental del área de influencia del acueducto El Mortiñal muestra un territorio con predominancia de coberturas agropecuarias, lo que refleja su vocación productiva y el aprovechamiento actual del suelo por parte de las comunidades locales. La presencia de plantaciones forestales y pastos en distintos estados sugiere oportunidades para consolidar procesos de transición hacia sistemas de uso del suelo más sostenibles, que integren la producción con la conservación. En este contexto, el conocimiento detallado de las coberturas existentes constituye una base sólida para orientar acciones de ordenamiento, restauración y manejo del paisaje, permitiendo fortalecer la protección de la fuente hídrica y garantizar su sostenibilidad en armonía con las dinámicas socioeconómicas del territorio.

6.7. NACIMIENTOS Y ZONAS PROTEGIDAS

El punto de captación se ubica en una zona de alta conectividad ecológica, próxima a Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), lo que evidencia la importancia estratégica del área para la conservación de la biodiversidad y la regulación hídrica regional. En sus inmediaciones se encuentra la RNSC Finca San Pedro, una iniciativa de conservación privada que protege fragmentos representativos de bosque andino y relictos de vegetación nativa, contribuyendo a la preservación de corredores biológicos y hábitats clave para especies locales.

Hacia el sur, se localiza la RNSC Pueblito Antiguo, reconocida por su valor ecológico en el contexto de la cuenca del Lago de Tota. Esta reserva, además de su relevancia paisajística y cultural, fortalece la conectividad entre ecosistemas altoandinos y aporta a la regulación del ciclo hídrico y del microclima regional.

Desde el punto de vista funcional, el área circundante al punto de captación juega un rol crucial en la regulación hídrica, al encontrarse en una zona de influencia directa de nacimientos de agua y drenajes naturales. La presencia de coberturas vegetales conservadas y suelos con alta capacidad de infiltración y retención de humedad como los andisoles e inceptisoles favorece tanto la recarga de acuíferos superficiales como el mantenimiento de caudales base, especialmente en épocas secas.

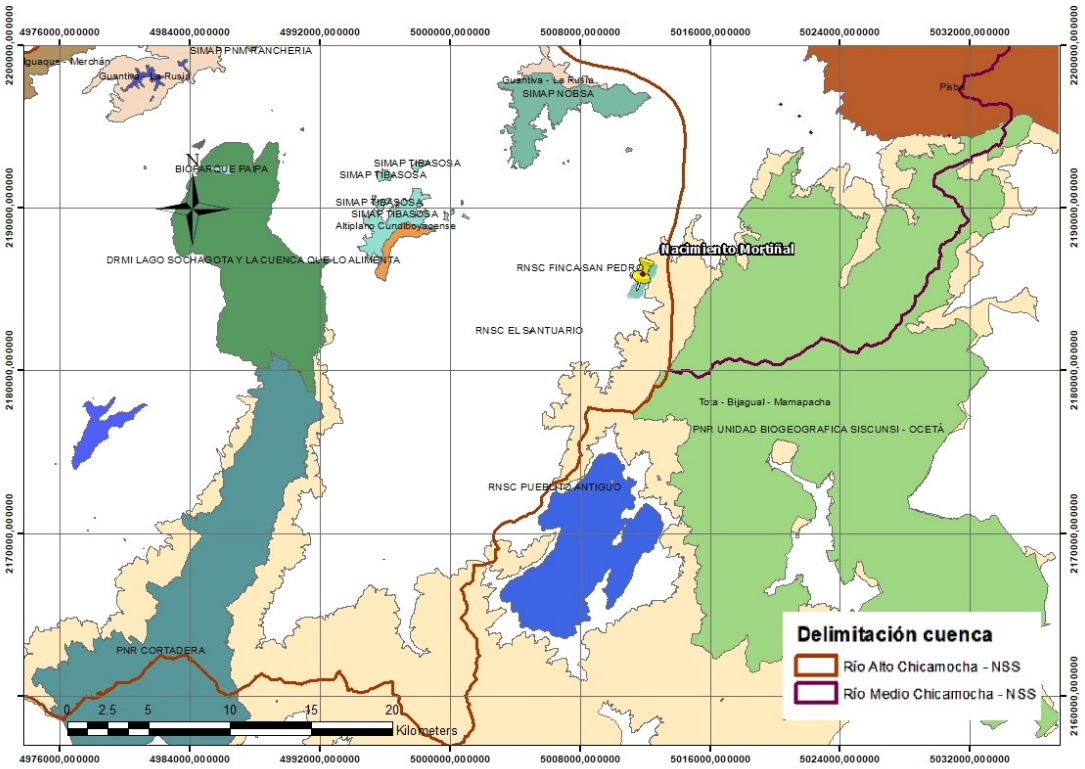
Aunque el punto no se encuentra dentro de áreas legalmente protegidas como el Páramo Complejo Tota–Bijagual–Mamapacha ni el Parque Natural Regional Siscunsí–Ocetá, colinda con sus zonas de influencia inmediata, lo que le confiere una alta sensibilidad ambiental. Ambos ecosistemas estratégicos son fundamentales para el equilibrio ecológico e hídrico del territorio.

El Páramo Complejo Tota–Bijagual–Mamapacha, parte del sistema de páramos andinos, actúa como un regulador hídrico natural: capta, almacena y libera agua de forma gradual hacia las cuencas hidrográficas, asegurando el suministro para las comunidades aguas abajo. Su vegetación especializada, adaptada a condiciones climáticas extremas, lo convierte en un importante reservorio de carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Por su parte, el Parque Natural Regional Siscunsí–Ocetá, declarado como área protegida de orden regional, integra un mosaico de páramos, bosques altoandinos y humedales. Es considerado uno de los paisajes naturales más diversos y mejor conservados de la cordillera Oriental, desempeñando un papel clave en la conectividad ecológica, la conservación de especies y la provisión de servicios como la regulación del clima, la recarga de acuíferos y el control de la erosión.

En este contexto, la ubicación del punto de captación en un entorno ambientalmente frágil y ecológicamente valioso exige que cualquier intervención sobre el recurso hídrico incorpore criterios de sostenibilidad, protección de coberturas vegetales y alineación con los objetivos de conservación de las áreas protegidas vecinas.

Ilustración 20. Identificación de ecosistemas estratégicos.



Fuente. Presente estudio.

A continuación, se presenta el marco legal vigente que respalda la protección y conservación de las áreas de páramo en Colombia, las cuales son reconocidas por su importancia estratégica en la regulación hídrica, la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos esenciales:

Ley 79 de 1986, en su artículo 1, literal c), declara como áreas de reserva forestal protectora para la conservación y preservación de las aguas a todos los bosques y la vegetación natural existentes sobre la cota de los tres mil (3.000) metros sobre el nivel del mar en el territorio nacional. Esta disposición legal sienta las bases para la protección de los ecosistemas de páramo como reservas estratégicas de agua.

Ley **99 de 1993**, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), se reorganiza el sector ambiental y se establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA). En su artículo 1, se consagran los principios generales que deben regir la gestión ambiental en Colombia. En particular, el numeral 4 establece que:

> *"Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial."*

Este principio reconoce el valor estratégico de estos ecosistemas y obliga a las instituciones a implementar medidas diferenciadas para su conservación.

Ley 373 de 1997, orientada al uso eficiente y ahorro del agua, establece en su artículo 16 modificado posteriormente por el **artículo 89 de la Ley 812 de 2003** (Plan Nacional de Desarrollo) que:

"…las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos acuíferos y de estrellas fluviales deberán ser adquiridas o protegidas con carácter prioritario por las autoridades ambientales, entidades territoriales y entidades administrativas de la jurisdicción correspondiente…"

Ley 1450 de 2011 (Plan Nacional de Desarrollo 2010–2014), artículo 173: Ordena la **delimitación de los páramos** del país para su protección y manejo sostenible, excluyendo en ellos las actividades mineras e incompatibles con su función ecológica.

Complejo de Páramos Tota – Bijagual – Mamapacha

El Páramo Complejo Tota–Bijagual–Mamapacha, ubicado en los departamentos de Boyacá y parte de Cundinamarca, está regulado por un conjunto de disposiciones normativas que garantizan su protección como ecosistema estratégico de alta montaña:

Resolución 2090 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Adopta la **delimitación oficial del Páramo Tota–Bijagual–Mamapacha**, con base en criterios técnicos y participativos, estableciendo los límites geográficos del ecosistema para su protección efectiva.

Sentencias T-361 de 2017 y C-035 de 2016 (Corte Constitucional): Refuerzan el principio de **prohibición de minería e industrias extractivas** en los páramos, y ordenan respetar los derechos fundamentales de las comunidades que habitan estos territorios. Estas decisiones fortalecen el bloque de constitucionalidad ambiental aplicable a este tipo de ecosistemas.

Parque Natural Regional Siscuncí – Ocetá

a. Decreto 2377 de 2010 – Gobernación de Boyacá

Contenido: Declara el **Parque Natural Regional Siscunsí–Ocetá** como área protegida del orden regional.

Objeto: Garantizar la **conservación de ecosistemas estratégicos de páramo y bosque altoandino**, proteger el recurso hídrico y conservar la biodiversidad presente en este territorio.

Ubicación: Municipios de Mongua, Monguí y Tópaga (Boyacá).

Extensión: Aproximadamente 9.000 hectáreas.

b. Acuerdo 005 de 2010 – CORPOBOYACÁ

Contenido: Adopta el acto administrativo que formaliza la declaratoria del PNR Siscunsí–Ocetá.

Objetivo: Establecer la delimitación, zonificación y lineamientos de manejo de esta área protegida regional.

c. Ley 99 de 1993

Crea el **Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)** y asigna a las corporaciones autónomas regionales la responsabilidad de declarar y administrar las áreas protegidas regionales como los PNR.

Artículo 31: Establece que las CAR pueden declarar áreas de reserva y adoptar medidas de protección en su jurisdicción.

d. Resolución 192/2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Si bien esta norma no declara el parque, sí adopta los **criterios de ordenamiento de páramos** y se relaciona con el contexto de conservación de ecosistemas donde se ubica el PNR Siscunsí–Ocetá.

e. Normativa técnica – SINAP y RUNAP

La clasificación y manejo del PNR Siscunsí–Ocetá se rige por los lineamientos técnicos del **Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)** y su incorporación en el **Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP)**.

Esto le confiere un estatus oficial de conservación dentro del marco de planificación y seguimiento ambiental nacional.

6.8. GEOLOGÍA

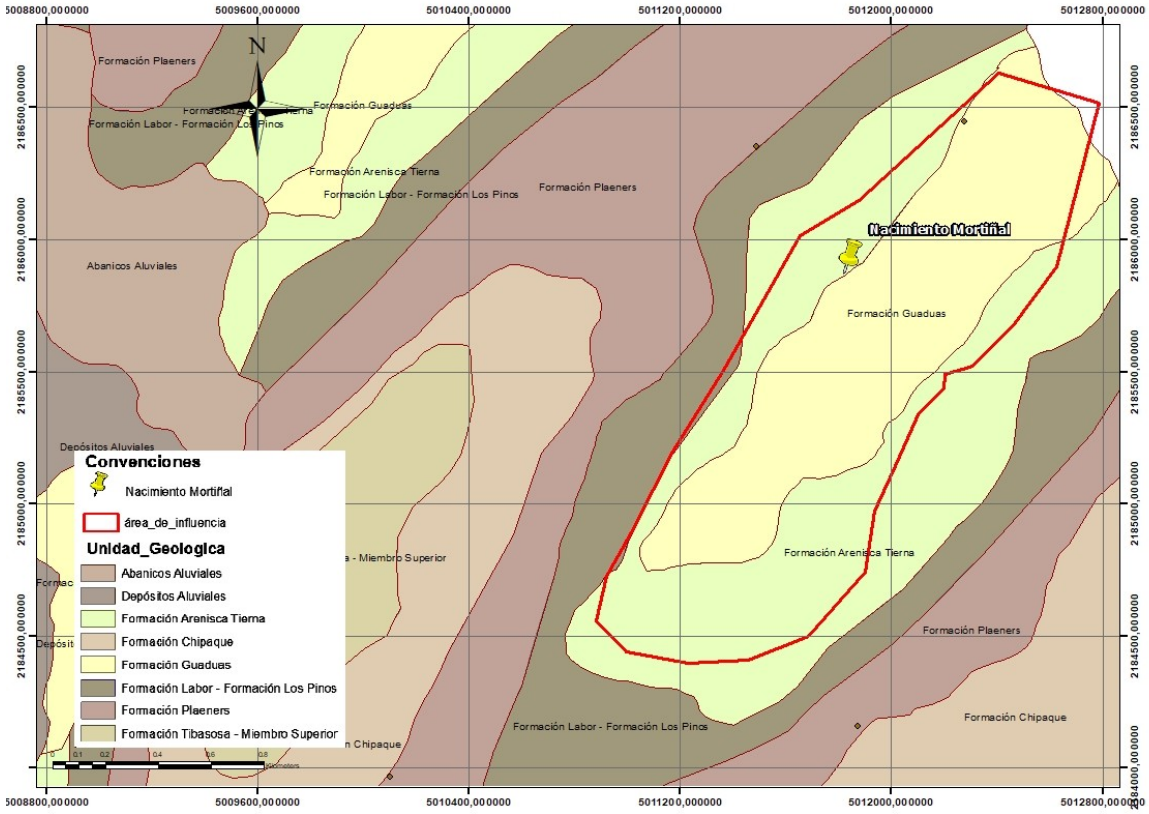
La Cuenca del Río Chicamocha se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias principalmente, las cuales varían de ambiente marino a ambiente continental y de algunos afloramientos de rocas ígneas volcánicas, que se generaron a partir de los diferentes eventos geológicos ocurridos en esta. La sucesión estratigráfica comprende rocas de diferentes edades, iniciando en el Paleozoico con la Formación Cuche.

Posteriormente, las rocas de edad Jurásica fueron levantadas por acción de procesos tectónicos, dando origen a las formaciones Girón, Montebel, Rusia y Arcabuco, sobre estas unidades se superpone una extensa secuencia sedimentaria de origen marino correspondiente al Cretácico, la cual inicia con la Formación Los Medios y culmina con la Formación Guaduas, en el Terciario, las rocas registran cambios significativos en el régimen tectónico, así como una transición en el ambiente de sedimentación, pasando de condiciones marinas a continentales. Finalmente, se reconocen cuerpos de rocas ígneas volcánicas de edad Terciario-Cuaternario, asociadas a eventos tectónicos intensos en la región, junto con un amplio registro de depósitos cuaternarios de tipo aluvial y coluvial

En el área de la Cuenca Alta del Río Chicamocha, se formaron pliegues y fallas asociados a los diferentes ambientes tectónicos que se desarrollaron durante toda la historia de la cuenca. Se evidencia la gran complejidad estructural por medio de dos grandes fallas de carácter regional, la Falla de Boyacá y de Soapaga y asociadas a éstas, se encuentran otras fallas de carácter local y estructuras de plegamiento tipo Sinclinal y anticlinal.

En concordancia a lo anterior, se llevó a cabo la verificación de las unidades geológicas presentes en el área de influencia de la captación del nacimiento El Mortiñal. En este análisis se identificaron las siguientes formaciones geológicas, las cuales determinan en gran medida las características hidrogeológicas y la dinámica del recurso hídrico en la zona.

Ilustración 21. Tipo de formaciones en el área de influencia.



Fuente. Presente estudio

La Formación Guaduas cubre un área de 113,1 km² y aflora ampliamente en varios sectores de la región, incluyendo el occidente de los municipios de Motavita y Cómbita, el nororiente de Sotaquirá y la margen oriental de la cuenca, especialmente al oriente de Tota, Cuítiva e Iza. En estos lugares conforma valles amplios y colinas suaves, como en el valle del río Pesca, donde es activamente explotada por sus yacimientos de carbón. También se encuentra expuesta en los alrededores del área urbana de Paipa y, hacia el sur, en zonas cercanas a Motavita y Tunja.

En Tunja, aflora en los taludes generados a lo largo de la vía que conduce a Villa de Leyva, mientras que en Sogamoso se observa en la carretera hacia Aquitania. En estos sectores, la formación presenta cuarzoarenitas fuertemente meteorizadas, con tonos amarillentos oscuros y abundante material arcilloso. La estratificación es poco definida y las rocas se encuentran cubiertas por detritos producto de procesos de meteorización. Estas unidades muestran selección pobre, clastos de formas variadas, y alta porosidad y permeabilidad, lo que favorece una notable humedad en el perfil.

Litología:

La unidad está compuesta por arcillolitas laminadas a masivas, de color gris claro a abigarrado, con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino a medio y capas de carbón. Son comunes los restos de hojas y fragmentos vegetales carbonizados a lo largo de la secuencia. En su parte media predominan areniscas friables y bancos de carbón explotables, mientras que en el techo se observan arcillolitas verduscas y violáceas con areniscas resistentes aisladas. La litología presenta variabilidad granulométrica, laminación ondulada y niveles con carbón estratificado.

Espesor y disposición:

La Formación Guaduas presenta un espesor variable entre 300 y 700 metros. En la carretera Chivatá–Toca y por la quebrada Carbonera, alcanza los 570 metros (Renzoni, 1981). Se dispone de forma concordante sobre la Formación Arenisca Tierna y es suprayacida paraconformemente por las areniscas de la Formación Areniscas de Socha. Sin embargo, en la carretera Tasco–Paz de Río se observa una discordancia angular.

Edad:

Según Van der Hammen (1957), con base en fósiles de foraminíferos, se le asigna una edad Maastrichtiano–Paleoceno.

Ambiente de depósito:

Se interpreta que su depósito ocurrió en un ambiente de costa clástica, con presencia de subambientes como llanura deltáica fluvial, llanura de marea, albufera y barra paralela (Sarmiento, 1992).

En contraste, las areniscas tiernas, conocidas regionalmente como Formación Areniscas de Socha o Arenisca Labor-Tierna del Grupo Guadalupe, abarcan un área aproximada de 16.6 $km2$, aflora en la zona oriental de la cuenca en el Sinclinal de Pilar como una faja que va de norte (al suroriente del municipio de Sogamoso) a el sur (norte del municipio de Tota), El término Arenisca Tierna se utiliza para identificar las areniscas que representan el techo del Grupo Guadalupe. Hubach (1931), empleó el término como Miembro Arenisca Dura. Renzoni (1962), la eleva al rango de formación; presenta una morfología de lomas alargadas que contrastan con la morfología de bajas topografías de la suprayacente Formación Guaduas. La Formación Arenisca Tierna se observó estratigráficamente por encima de las Formaciones Arenisca Labor y Los Pinos, y por debajo de la Formación Guaduas.

Reposa concordantemente sobre la Formación Labor y por debajo de la Formación Guaduas en contacto concordante y neto, y tiene un espesor aproximado de 300 a 450 metros, hacia el sur del área urbana de Sogamoso la unidad presenta un espesor de 43.40 m (Ulloa et al., 2003).

Litología:

Consta predominantemente de areniscas de grano grueso a muy grueso en potentes bancos separados por finos paquetes oscuros de lodolitas, limolitas y arcillolitas interestratificadas. Reposa concordantemente sobre la Formación Labor y por debajo de la Formación Guaduas en contacto concordante y neto.

Edad:

Santoniano según Etayo (1964).

En Sogamoso, aflora la Formación Arenisca Tierna dentro de la zona urbana más exactamente hacia el límite suroriental, en este punto se observa un potente banco de arenas y limos, no se observa una estratificación clara, la selección de granos es bastante regular y la forma de estos varía desde redondeada hasta semiangular, este material estaba bastante meteorizado y húmedo, lo que indica buenas características de porosidad y permeabilidad.

Se conforman unidades sedimentarias menos consolidadas, de grano fino a medio, con estructura cruzada y litología mayoritariamente arenosa. Estas areniscas emergen sobre la Formación Guaduas, presentando bancos potentes cuarzosos que alternan con arcillolitas y limolitas. Su resistencia es baja, lo que favorece su meteorización y erosión en zonas de pendiente suave. Están contextualizadas estratigráficamente entre el Guadalupe Group y las secuencias de transición hacia el Terciario.

Desde una perspectiva funcional, la Formación Guaduas, con arcillolitas y lutitas intercaladas, retiene agua y presenta baja permeabilidad, lo que influye positivamente en la regulación del flujo subterráneo y en la estabilidad de suelos. En contraste, las areniscas tiernas ofrecen mayor permeabilidad y menor cohesión estructural, lo que facilita la infiltración superficial y la generación de escorrentía lateral, especialmente en zonas erosionables o de ladera.

Geología Estructural

La Cuenca Alta del Río Chicamocha, está ubicada en la parte central de la Cordillera Oriental, la cual fue sometida a una serie de procesos tectónicos y estructurales en algunos momentos extensivos y en otros fue compresivo. Esta intensa actividad tectónica en el área genera una gran complejidad estructural, en la cual se pueden identificar dos grandes fallas de carácter regional que limitan la cuenca: las Fallas de Boyacá y de Soapaga a las cuales otras fallas de carácter más local y estructuras de plegamiento tipo Sinclinal y anticlinal se encuentran directamente relacionadas.

Los principales lineamientos de falla en la zona son: la Falla de Boyacá, la Falla de Soapaga, el sistema de fallas de La Laguna, la Falla de Pesca, la Falla de Sotaquirá, la Falla de Gámeza y la Falla de Chivatá. Las principales estructuras de plegamiento son: el Sinclinal de Tunja, Sinclinal de Los Medios, Sinclinal de Cómbita, Sinclinal de Tota, Sinclinal de San Miguel, Sinclinal del Pilar, Anticlinal de Motavita, Anticlinal de Iza y el Anticlinal de Chorrera.

Las formaciones identificadas se encuentran afectadas por fallas regionales como la Falla de Soapaga y Gámeza, que modulan su espesor y distribución estratigráfica en la zona de Sogamoso.

Falla de Soapaga

La Falla de Soapaga es una estructura de tipo inverso que afecta numerosas unidades geológicas de distintas edades. Entre las formaciones afectadas se encuentran las del Cretácico: Une, Tibasosa Superior, Conejo, Plaeners, Labor y Tierna; así como las unidades del Paleógeno: Guaduas y Concentración. En el área comprendida entre Sogamoso y Firavitoba, su traza se encuentra cubierta por depósitos aluviales del Cuaternario.

Presenta una orientación general NNE–SSW y evidencia un cabalgamiento cuyo plano de falla buza hacia el noroeste. Esta falla controla geomorfológicamente el valle del río Chicamocha, desarrollándose de forma subparalela a la Falla de Boyacá, lo que resalta su relevancia estructural a escala regional.

Falla de Gámeza

La Falla de Gámeza se localiza en los alrededores de Duitama y corresponde a una estructura satélite asociada a la Falla de Boyacá. Su traza alinea el curso de la quebrada La Zarza en el sector suroccidental de la zona. Presenta una dirección N 50° W y un buzamiento de 60° hacia el noreste.

Esta falla, también de tipo inverso y de edad postjurásica, pone en contacto las areniscas conglomeráticas de la base de la Formación La Rusia con las limolitas que conforman el techo de dicha unidad.

Sinclinal de San Miguel

Es una estructura que recorre parte de los municipios de Cuítiva, Tota, Iza y Sogamoso, entre, los Anticlinales de Iza y del Pilar. Es una de las principales estructuras del oriente de la zona de estudio, cuyos flancos están volcados hacia el NW, con inclinaciones que no exceden los 30°. En su núcleo aflora La Formación Guaduas (Cretácico - Paleoceno) y en los flancos las formaciones Arenisca Tierna, Labor – Los Pinos y Plaeners (Cretácico Superior).

Sinclinal del Pilar

Es una estructura localizada al oriente de la cuenca, que recorre los municipios de Cuítiva, Iza y Sogamoso. Su eje corre paralelo al del Anticlinal de Chorrera y el Sinclinal de San Miguel. En su núcleo, al sur, aflora la Formación Plaeners y Labor – Los Pinos, mientras que hacia el norte se expone la Formación Guaduas (Cretácico - Paleoceno). En los flancos de la estructura se encuentran las Formaciones Chipaque, Plaeners, Labor – Los Pinos y Arenisca Tierna.

Densidad de fracturamiento

La condición y estado de fracturamiento de las rocas se asocia particularmente, a las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a las fallas geológicas y plegamientos de las rocas sedimentarias. En el caso de las fallas geológicas es de esperar que la deformación y fracturamiento se intensifique con las tasas de desplazamiento de las fallas, mientras que en el caso de los pliegues el mayor fracturamiento se concentra en las crestas donde predominen las rocas frágiles.

Evolución geológica

La geología que actualmente muestra la Cuenca Alta del Río Chicamocha, es el reflejo de un largo proceso de cambios y modificaciones tectónicas y estructurales que se han presentado a través del tiempo.

Durante el Paleozoico esta zona se encontraba bajo el nivel del mar y en la cual se generaron sedimentos marinos importantes, que posteriormente fueron levantados, plegados y fracturados por fuertes eventos tectónicos. La zona estuvo levantada, constituyendo un área continental emergida hasta el Devónico, cuando inician procesos distensivos y de subsidencia, que permitieron una nueva transgresión marina que continuo hasta el Carbonífero y esto se evidencia con las rocas de la Formación Cuche

Posteriormente por procesos tectónicos compresivos a finales del Carbonífero se produce nuevamente un levantamiento, que permitió que estos sedimentos emergieran por encima del nivel del mar. Este proceso continuó hasta finales del Triásico y se evidencia con la ausencia de depósitos litológicos op cit.

Durante el Jurásico, se depositan rocas sedimentarias de ambiente continental fluvial, como son Formación Montebel, Formación Girón y Formación Rusia. Posteriormente asociada a la apertura de Pangea se evidencia una dinámica distensiva, que da origen a la transgresión marina del Cretácico.

En el Cretácico, se deposita en gran parte de la cuenca una potente secuencia de areniscas y se evidencia cómo el ambiente se va volviendo más marino, en el cual se depositan rocas lodosas que contienen una fauna rica en amonitas, gasterópodos y equinoideos. Durante el Coniaciano se depositan las arenas cuarzosas de la base del Grupo Guadalupe, luego de lo cual se produce un ascenso relativo del nivel del mar, lo que favorece la sedimentación de liditas, calizas y delgados niveles conglomeráticos, que van a dar origen a la Formación Plaeners del mismo Grupo. El Maastrichtiano marca el comienzo de la regresión del mar y se evidencia con rocas de ambiente menos profundo como lo son las formaciones Labor y Arenisca Tierna. A finales del Cretácico e inicios del Paleoceno, se depositó una alternancia de arenas, conglomerados y lodos, entre los cuales ya existen varias capas de carbón de la Formacion Guaduas y evidencia un cambio en el modelo tectónico op cit.

En el Paleógeno la sedimentación paso de ser marina a continental, las formaciones Areniscas de Socha, Arcillas de Socha y Picacho principalmente, contienen fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas que demuestran el levantamiento del Macizo de Santander desde el Paleoceno. El levantamiento de la Cordillera Oriental ocurre en el Mioceno y debido al complejo escenario tectónico, se generan pliegues considerables que afectan en especial las rocas del Paleógeno y Neógeno asociados a las fallas de Boyacá y Soapaga por su reactivación post-neogena. Además de esto se evidencia actividad volcánica en esta época asociada a las rocas ígneas volcánicas Andesitas que intruyen la secuencia cretácica y paleógena op cit.

Entre el Plioceno Superior al Pleistoceno, se erigen los valles de Chiquinquirá, Tunja y Duitama, que posteriormente son rellenados con materiales erodados de los bloques adyacentes, depositados en ambientes lagunares y fluviátiles, formando la denominada Formaciones Tilatá op cit.

Actualmente se vive un período de desglaciación y el levantamiento de la cordillera prosigue, además la zona de la Cuenca del Río Alto Chicamocha se encuentra sometida a fuertes procesos de meteorización y erosión y se evidencia una importante presencia de depósitos aluviales, abanicos aluviales y depósitos coluviales.

6.8.1. Geología para ingeniería Cuenca Alta del Río Chicamocha

De acuerdo con la información contenida en la cuenca alta del Río Chicamocha, se refiere que para la ciudad de Sogamoso los depósitos y afloramientos observados, evidenciaron que las rocas en general tienen buena consistencia y no presentan un riesgo en las zonas donde hay vegetación que de estabilidad a las pendientes previniendo posibles fenómenos de remoción en masa; en contraste en los lugares donde hay escasa vegetación se observaron caída de detritos y de rocas sin ningún control por parte de las autoridades, factores como fracturas y planos estructurales debilitados por la meteorización motivan la caída de estos materiales, la mayoría de estos puntos se localizan en canteras abandonadas o con explotación activa en las cuales no se observó ningún control ambiental.

Depósitos superficiales

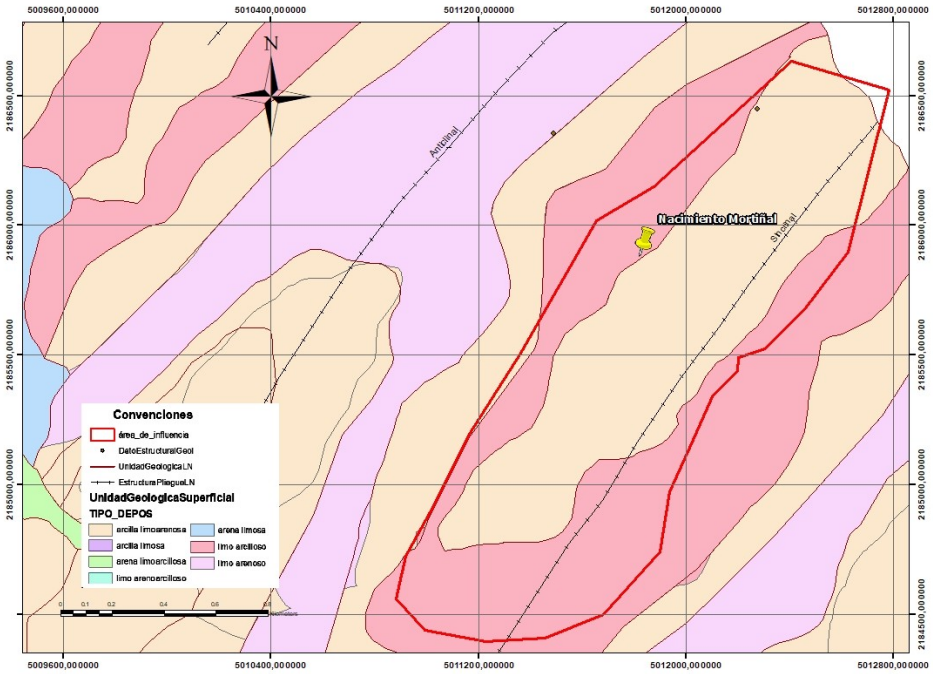
Ahora bien, En el área de estudio se identifican dos tipos de depósitos superficiales con características texturales diferenciadas: arcillas limo-arcillosas y limo arcilloso, ambos relevantes desde el punto de vista geotécnico e hidrogeológico.

Las arcillas limo-arcillosas corresponden a materiales de origen coluvial y aluvial, compuestos predominantemente por partículas finas de arcilla con un contenido apreciable de limo. Estas presentan una textura plástica, coloración grisácea o marrón, y tienden a retener agua debido a su baja permeabilidad. Su comportamiento mecánico es sensible a los cambios de humedad, lo cual puede generar fenómenos de expansión-retracción, afectando la estabilidad superficial del terreno. Este tipo de depósito favorece la retención de humedad en zonas planas o de pendiente suave, siendo característico de ambientes de relleno o antiguas terrazas fluviales.

Por otro lado, el limo arcilloso es un sedimento más suelto y menos plástico, con predominancia de partículas de limo sobre arcilla, su textura es terrosa, friable y de menor cohesión, con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica. Este tipo de depósito permite una mayor infiltración de agua comparado con las arcillas limo-arcillosas, aunque conserva cierta capacidad de retención hídrica. Se encuentra comúnmente en áreas de abanicos aluviales o sectores intermedios de vertientes con transporte de material fino.

Ambos depósitos influyen directamente en la dinámica hídrica del suelo, ya que determinan la infiltración, escorrentía superficial y capacidad de almacenamiento subterráneo. Por ello, su presencia debe considerarse en la planeación de medidas de conservación del recurso hídrico, especialmente en zonas de recarga y rondas de captación

Ilustración 22. Tipo de depósito en el área de influencia.



Fuente. Presente estudio

6.9. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA

La geomorfología, según el enfoque del Servicio Geológico Colombiano (SGC), es la disciplina que estudia las formas del terreno, su origen, evolución y los procesos que las modelan, este análisis integra información sobre la litología, la estructura geológica, los procesos tectónicos y climáticos, así como el modelado fluvial y gravitacional del relieve.

En el marco del diagnóstico ambiental del área de influencia del acueducto El Mortiñal, el análisis geomorfológico constituye una herramienta fundamental para evaluar la estabilidad del terreno, identificar zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa y reconocer restricciones naturales que puedan afectar el diseño y operación de la infraestructura.

Con base en la cartografía oficial del SGC, se identificaron y caracterizaron las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Esta información es esencial para entender las condiciones geotécnicas del terreno y anticipar los posibles factores que puedan incidir en la implementación del sistema de acueducto.

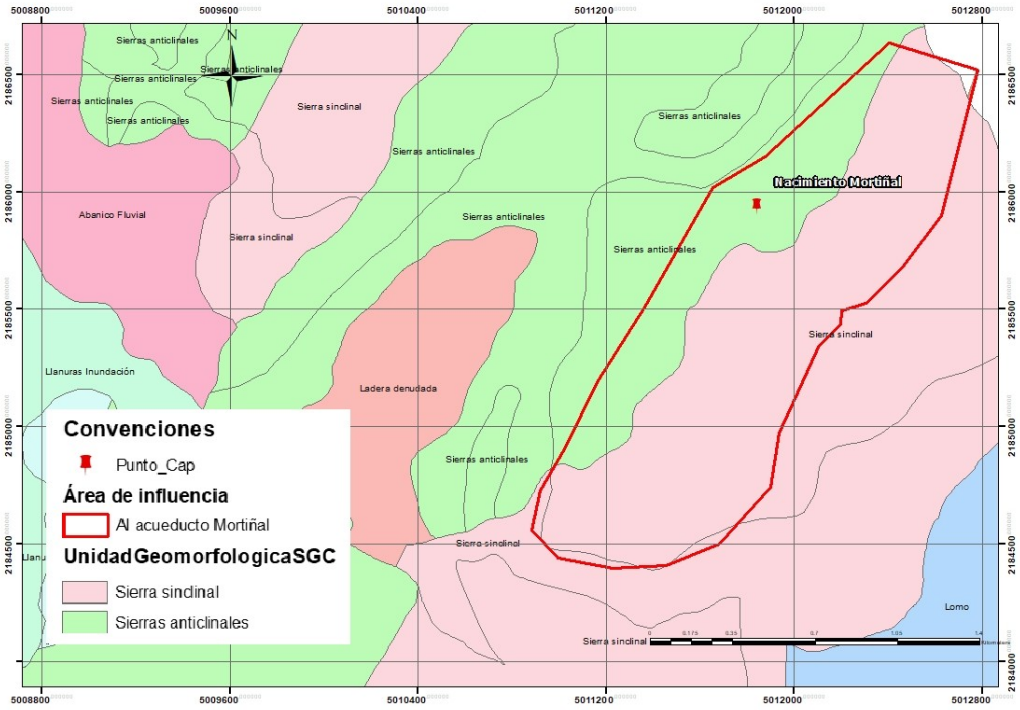
El área se encuentra dominada por unidades geomorfológicas de origen estructural, clasificadas por el SGC como sierras anticlinales y sierras sinclinales. Específicamente, se identificaron dos unidades: la unidad Ssɑlc, correspondiente a laderas de contrapendiente de sierras anticlinales, y la unidad Ssɑle, correspondiente a laderas estructurales de sierras sinclinales. Ambas unidades se originan en un ambiente estructural y están compuestas principalmente por rocas consolidadas, cuyas características litológicas y estructurales definen el relieve del área.

La unidad Ssɑlc (sierras anticlinales) se desarrolla en laderas de contrapendiente donde los estratos geológicos se inclinan en sentido opuesto al de la pendiente. Estas zonas presentan pendientes fuertes, suelos delgados y un control morfoestructural que limita el desarrollo de coberturas edáficas continuas. La equivalencia de esta unidad en la clasificación de unidades geotécnicas del SGC corresponde a Rlcsa, y se considera dentro del grupo de rocas de ambiente estructural, morfológicamente sierras anticlinales.

Por su parte, la unidad Ssɑle (sierras sinclinales) se ubica en zonas donde los estratos se pliegan hacia abajo, formando depresiones estructurales con laderas que tienden a ser más estables que en las anticlinales. Sin embargo, la intercalación de materiales con diferentes propiedades físicas puede generar zonas de debilidad localizadas. Esta unidad se clasifica como Rless en la equivalencia UGS y también pertenece al grupo de rocas de ambiente estructural, morfológicamente sierras sinclinales.

Ambas unidades presentan una morfología alargada que responde al control tectónico regional, y sus características estructurales tienen implicaciones directas sobre la estabilidad de taludes y la capacidad de infiltración de agua. Por lo tanto, es indispensable considerar estas condiciones geomorfológicas en la planificación y diseño de las obras del acueducto. Se recomienda realizar estudios geotécnicos detallados, implementar medidas de drenaje en laderas inestables y establecer criterios técnicos para la ubicación de estructuras, con el fin de reducir riesgos asociados a movimientos en masa y procesos de erosión.

Ilustración 23. Unidades Geomorfológicas



Fuente. Presente estudio

El comportamiento del modelo fluvial en esta parte de la cuenca está fuertemente condicionado por el control estructural de las unidades geomorfológicas identificadas, los cauces presentan formas encajadas y dinámicas transicionales entre trenzado y meandriforme, con evidencia de terrazas fluviales, abanicos aluviales y planicies de inundación que indican etapas de ajuste del sistema hídrico frente a los levantamientos tectónicos. Las laderas anticlinales, con pendientes más pronunciadas y suelos delgados, generan escorrentías rápidas que incrementan el aporte sedimentario al río Chicamocha. En contraste, las laderas sinclinales, con pendientes moderadas, permiten una mayor retención de humedad y procesos de infiltración más efectivos, aunque también están expuestas a procesos erosivos localizados.

Los procesos gravitacionales actúan principalmente sobre estas unidades de ladera, donde la inclinación del terreno y la estructura interna de las rocas facilitan la inestabilidad superficial, en particular, las laderas anticlinales muestran mayor susceptibilidad a deslizamientos y acumulación de coluviones, mientras que en los sinclinales se identifican formas asociadas a reptación y erosión laminar, especialmente en zonas de transición entre unidades.

La actividad tectónica ha sido determinante en la configuración de estas geoformas, la orientación de las sierras, el buzamiento de los estratos y la morfología de las laderas responden al régimen compresivo andino y a la presencia de fallas activas que generan relieve estructural. Este patrón se refleja en la disposición alargada de las sierras y la asimetría de sus laderas, características claves de las unidades geomorfológicas en las que se encuentra el área de influencia del acueducto el Mortiñal.

Finalmente, el clima frío templado del altiplano boyacense, con precipitaciones concentradas en dos periodos anuales, actúa como factor desencadenante de procesos erosivos y de remoción en masa, las condiciones de humedad constante en las laderas sinclinales favorecen la saturación de suelos, mientras que las laderas anticlinales, con menor retención hídrica, presentan escorrentía superficial intensa. Estas dinámicas hidrometeorológicas acentúan la fragilidad de las unidades geomorfológicas y deben ser consideradas en la evaluación de riesgos naturales.

6.10. HIDROGEOLOGÍA

Marco hidrogeológico regional:

El almacenamiento y flujo del agua en el subsuelo están determinados por las condiciones geológicas del suelo y subsuelo además de las características físicas, químicas, hidrológicas y climáticas que intervienen en la dinámica de recarga, tránsito y descarga de los sistemas acuíferos presentes en las diferentes regiones

En el Estudio Nacional del Agua (ENA), el componente de aguas subterráneas forma parte de la evaluación del estado y dinámica de las aguas en el territorio nacional. En el ENA 2010, el país se subdividió en 16 provincias hidrogeológicas que fueron caracterizadas asociándoles información disponible para conocer su geometría, hidroestratigrafía, propiedades hidráulicas, hidrológicas, uso por los diferentes sectores y reservas estimadas basado en rendimientos específicos y espesores de unidades geológicas con potencial acuífero.

El área correspondiente a la cuenca alta del río Chicamocha se localiza dentro de la provincia hidrogeológica de la región Andina, la cual abarca el sistema montañoso centro-occidental del país, conformado por las cordilleras Central y Oriental, la cual está compuesta, hacia su zona central y oriental, por rocas sedimentarias de origen marino pertenecientes al Cretácico y Terciario, así como por depósitos continentales del Terciario. En menor proporción, también se encuentran sedimentos de origen cuaternario.

En las zonas montañosas, las formaciones geológicas de edad terciaria y cretácea presentan características favorables para la acumulación de aguas subterráneas. Estas formaciones corresponden a secuencias sedimentarias de las cordilleras Central y Oriental, donde predominan acuíferos generalmente confinados.

En el núcleo de la cordillera Oriental afloran formaciones cretáceas de origen transicional y continental (K1, Tc1), constituidas por rocas poco o medianamente cementadas, como areniscas, limolitas y conglomerados, que presentan porosidad primaria y secundaria, generando acuíferos con buena disponibilidad y calidad química del agua.

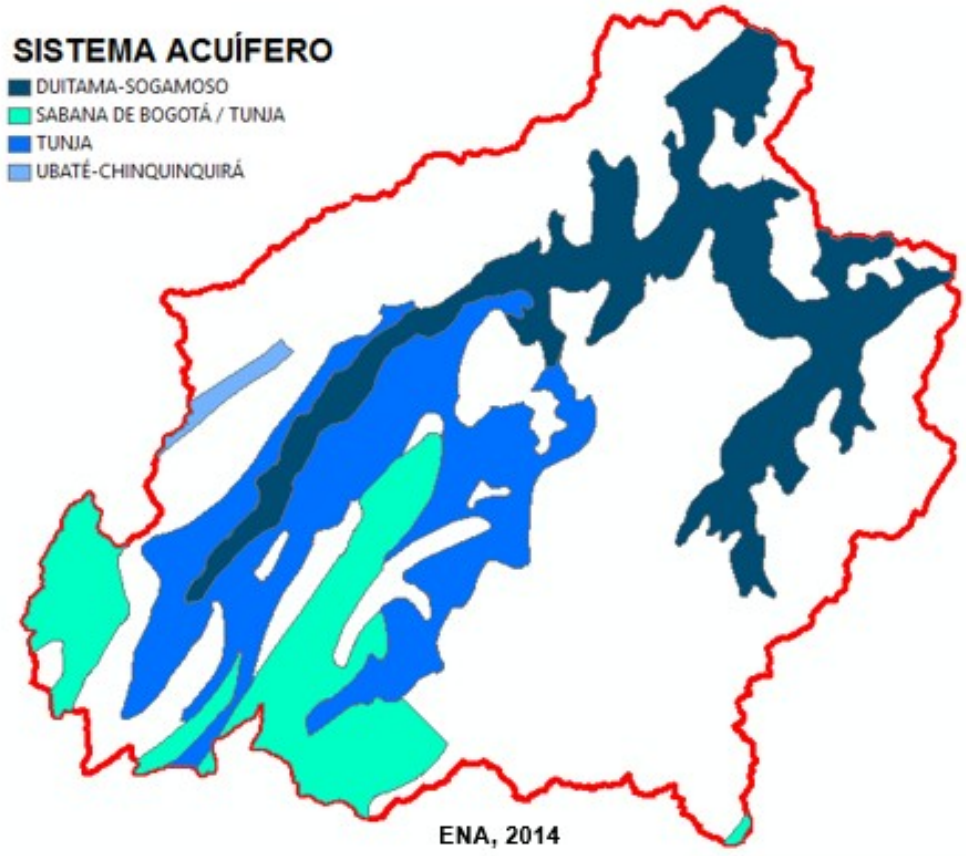
Por su parte, en los bordes del núcleo de esta cordillera se encuentran formaciones calcáreas del Cretácico superior (K2), compuestas principalmente por lutitas negras (shales), calizas y areniscas. En este caso, la porosidad es secundaria, producto de procesos de fracturamiento o disolución, dando lugar a acuíferos locales con permeabilidad de moderada a baja y una calidad química del agua considerada regular.

Aunado a lo anterior, y de acuerdo con estudios desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en Colombia se han identificado 16 provincias hidrogeológicas, con un área potencial de acuíferos que representa aproximadamente el 74,5 % del territorio nacional y reservas estimadas del orden de 5.848 km³ de agua subterránea.

La identificación y delimitación de los sistemas acuíferos que conforman estas provincias fue realizada inicialmente por el IDEAM en el año 2013, reconociéndose en ese momento 44 sistemas acuíferos, los cuales abarcan entre el 10 % y el 15 % del área total cubierta por las provincias hidrogeológicas.

Posteriormente, en el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2014, se amplió y refinó esta información, logrando la caracterización de 61 sistemas acuíferos. Este análisis se complementó con el cruce de capas geográficas generadas a partir del proceso de delimitación, integrándolas con los insumos técnicos del Atlas Hidrogeológico de Colombia elaborado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), con el fin de obtener una visión más integral del potencial hidrogeológico del país.

Ilustración 24. Sistemas Acuíferos, cuenca alta del Río Chicamocha.



Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 277.

6.11. INVENTARIO PUNTOS DE AGUA:

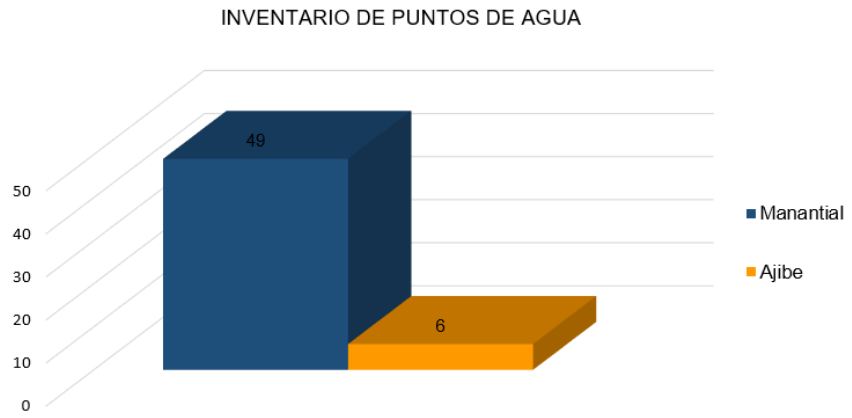
El inventario hidrogeológico del municipio de Sogamoso, presentado en el POMCA de la cuenca alta del río Chicamocha, identifica tres bloques de interés: Independencia I, Independencia II y Pedregal Bajo, los cuales concentran los principales puntos de surgencia de agua subterránea.

En el bloque Independencia I, se identificó una alta densidad de manantiales, cuya alineación tiende a ser paralela al rumbo geológico de la Formación Ermitaño (Kse). Este patrón sugiere una influencia estructural en la localización de los puntos de agua. En el bloque Independencia II, la densidad de manantiales es menor, pero también se localizan dentro de la Formación Ermitaño y en menor medida en la Formación Guaduas (Ktg). Por su parte, en el bloque Pedregal Bajo, se reportaron tanto manantiales como aljibes, ubicados en la Formación Ermitaño y en su contacto con la Formación Guaduas, específicamente en uno de los flancos del Sinclinal de San Miguel.

La mayor concentración de manantiales se encuentra precisamente en esta estructura sinclinal, particularmente en la Formación Guaduas. También se registraron surgencias alineadas en el contacto entre esta unidad y las Areniscas de Socha (Tpsi), lo que indica una posible relación entre el control estructural y la aparición de fuentes de agua subterránea.

Estos puntos hidrogeológicos se distribuyen dentro de la cuenca alta del río Chicamocha, abarcando subcuencas como el río Pedregal, el río Chorrerano, la quebrada Sonesi y el Canal de Venecia, lo que resalta la relevancia regional de estos sistemas hídricos.

Ilustración 25. Tipos de puntos de agua subterránea presentes en el Municipio.



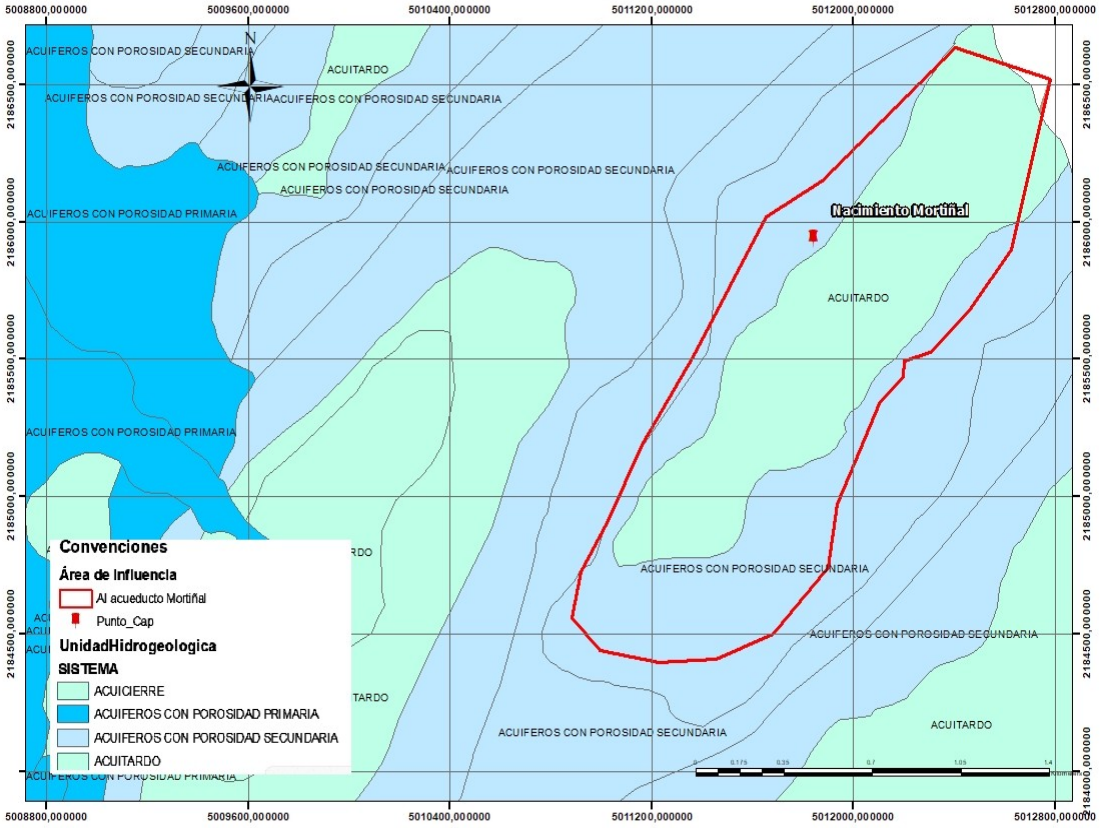
Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico. Pág 289

En cuanto a los tipos de surgencia, el inventario revela que los manantiales representan el 89% de los puntos de agua identificados, su surgencia se da principalmente por filtración natural, alimentada por drenaje subterráneo y aguas lluvias. Estos recursos son utilizados comunitariamente para actividades agropecuarias, domésticas y en menor medida forestales, en zonas donde predominan cultivos, pastos y algunos parches de bosque. Sin embargo, se evidenció que la mayoría de estos puntos carecen de rondas de protección y sellos sanitarios, lo cual representa un riesgo para la conservación y calidad del recurso.

Los aljibes, que corresponden al 11% restante, también se abastecen principalmente por filtración y drenaje natural. Aunque presentan características de uso similares a los manantiales, en su mayoría están cubiertos y protegidos, lo que mejora sus condiciones sanitarias y de almacenamiento.

Específicamente, para él área de influencia del acueducto el Mortiñal se evidencia que las unidades hidrogeológicas corresponden a las denominadas como acuitardos y acuíferos con porosidad secundarias, como se observa a continuación:

Ilustración 26. Sistema Hidrogeológico en el área de influencia.



Fuente. Presente estudio

Para el Acuitardo localizado en la formación Guaduas, se considera principalmente al estar constituido por arcillolitas grises a rojizas, intercalado con mantos de carbón y pequeños bancos de areniscas friables de color amarillo a pardo-rojizas, cuarzosa de grano fino a medio, localmente hasta conglomeráticas.

Rocas con Flujo a través de Fracturas o Porosidad Secundaria

Son sistemas acuíferos discontinuos de extensión semiregional, conformados por rocas sedimentarias clásticas de edad Cretácica, depositadas en un ambiente marino. Estos acuíferos son generalmente confinados, con aguas recomendables para cualquier uso. Dentro de este sistema hidrogeológico se encuentra las siguientes formaciones: Formación Tilatá (NgQt), Formación Churuvita (Ksch), Formación Conejo (Kscn), Formación La Rusia (Jru), Formación Cuche (Cc),

Formación Bogotá (Pgb), Formación Tibasosa (Kit), Formación Une (Kiu), Formación Arenisca Tierna (Ksgt), Formación Plaeners (Ksgp) y Formación Guaduas (KPgg)

6.12. USOS DEL SUELO

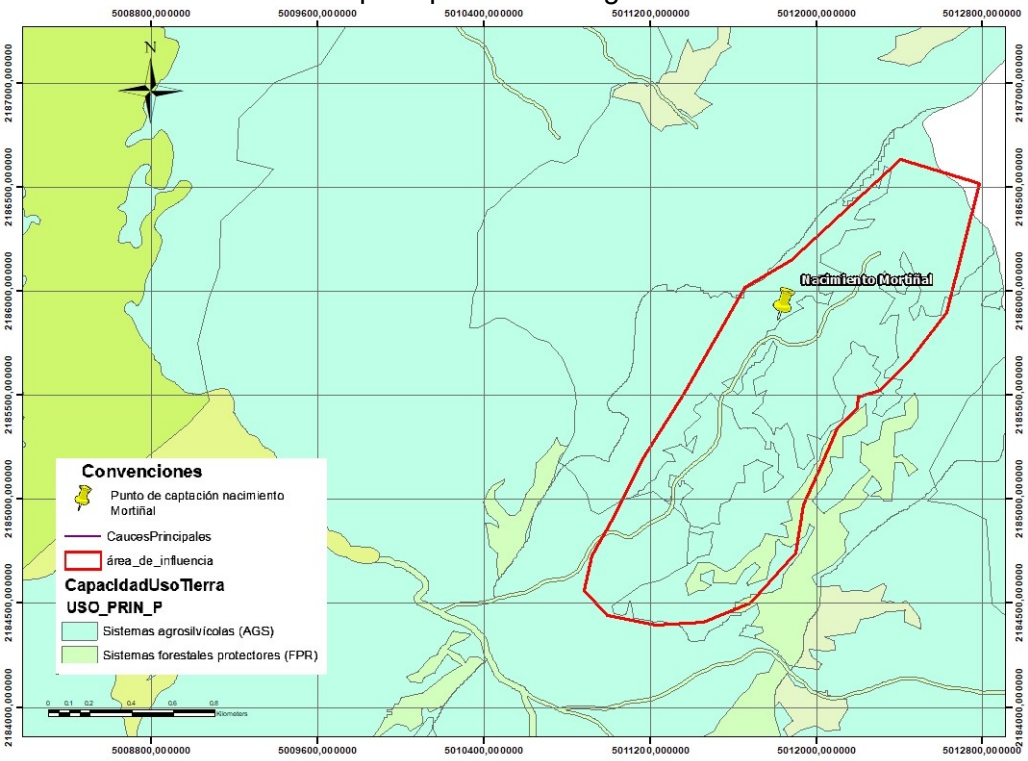
A partir de la información cartográfica consignada en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Chicamocha alto, se llevó a cabo la verificación de la capacidad del uso de la tierra y su uso principal determinando que el polígono delimitado se ubica en suelo denominados como sistemas agrosilvopastoriles (AGS) y sistemas forestales protectores (SFP).

En primer lugar, los sistemas agrosilvopastoriles (AGS) se definen como aquellas áreas donde actividades agrícolas, pecuarias y forestales se integran de forma combinada y sostenible. Estas zonas se caracterizan por mantener una presión sobre los recursos naturales que no excede su capacidad de regeneración y disponibilidad. En dichos sistemas se promueven prácticas productivas que respetan criterios de protección ambiental, como agroforestería, rotación de cultivos, manejo sostenible del pastoreo y la conservación de cubiertas vegetales, favoreciendo la disponibilidad de recursos hídricos y la conservación del suelo

Adicionalmente, los sistemas forestales protectores, también considerados dentro de la categoría AGS, hacen referencia a áreas cuya vocación principal es la protección ecológica del territorio. En estos espacios se prioriza la regeneración natural o la plantación forestal con especies nativas, orientadas a conservar funciones ecosistémicas como la regulación hídrica, la mitigación de la erosión y la provisión de hábitats. Aunque pueden incluir prácticas agropecuarias de baja intensidad, su enfoque principal se orienta a mantener o restaurar la funcionalidad ambiental de cuencas y rondas hídricas

De conformidad con lo indicado en el POMCA, los sistemas AGS mixtos permiten la combinación de actividades agrícolas, ganaderas y forestales bajo criterios de sostenibilidad ambiental, asegurando que no se sobreexploten los recursos renovables (suelo, agua y biodiversidad) y los sistemas forestales protectores enfatizan la preservación ecológica, priorizando la regeneración natural o plantaciones estratégicas, especialmente en zonas críticas como nacimientos de agua y bordes de cuencas hídricas.

Ilustración 27. Uso principal de la categoría de suelo en el área.



Fuente. Presente estudio

6.13. SUELOS

A continuación se presentan las nueve (9) unidades cartográficas de suelos que se encuentran distribuidas en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí-Ocetá, de acuerdo a la información del Estudio General de suelos y Zonificación de tierras del departamento de Boyacá, (IGAC, 2005), se recopiló información del área según la clasificación con respecto a geología y zonas de vida ecológicas de Holdridge y se clasificaron taxonómicamente hasta el nivel de subgrupo utilizando el sistema taxonómico americano (Soil Survey Staff, 2000). En el mapa de suelos los símbolos de las unidades de suelo están representados por tres letras mayúsculas que indican: la primera de ellas el paisaje, la segunda el clima y la tercera el contenido pedológico. Estas letras están acompañadas por subíndices alfanuméricos que indican rango de pendiente, grado de erosión y pedregosidad, cada uno de estos párametros para definir cada unidad cartográfica de suelos posteriormente.

Tabla 14. Simbología utilizada en la cartografía

Clima		Pendiente	Grado de Erosión	
A	Nival	a. Pendiente 0-3% Topografía plana, plano - cóncava.	1	Grado de erosión ligero
B	Subnival pluvial	b. Pendiente 3-7% Topografía ligeramente inclinada y ligeramente ondulada.	2	Grado de erosión moderado
E	Extremadamente frío húmedo y muy húmedo	c. Pendiente 7-12% Topografía moderadamente inclinada, ligeramente quebrada y moderadamente ondulada.	3	Grado de erosión severo

G	Muy Frío muy húmedo	d. Pendiente 12-25% Topografía fuertemente inclinada, moderadamente quebrada y fuertemente ondulada.		
H	Muy frío húmedo	e. Pendiente 25-50% Topografía ligeramente empinada, fuertemente quebrada y ligeramente escarpada.		
J	Frío pluvial	f. Pendiente 50-75% Topografía moderadamente empinada y moderadamente escarpada.		
K	Frío muy húmedo	g. Pendiente > del 75% Topografía fuertemente empinada y fuertemente escarpada.		
L	Frío húmedo			
M	Frío seco			
O	Medio pluvial			
P	Medio muy húmedo			
R	Medio seco			
V	Cálido húmedo			

Fuente. Tomado de Plan de Estudio General de suelos y Zonificación de tierras del departamento de Boyacá (IGAC, 2005).

Dentro del paisaje de montañas estructurales del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí-Ocetá se encuentran (9) unidades cartográficas distribuidas en diferentes climas ambientales, que se describen a continuación.

Complejo Lithic Dystrocryepts – Humic Dystrocryepts – Typic Haplohemists y Afloramientos Rocosos. Símbolo MEE.

En el área de estudio, la unidad se localiza en, Aquitania, Sogamoso, Mongui y Mongua; su altitud varía de 3600 a 4200 metros; su clima es extremadamente frío húmedo y muy húmedo, caracterizado por una temperatura media anual de 6° C y una precipitación anual inferior a los 2.000 milímetros.

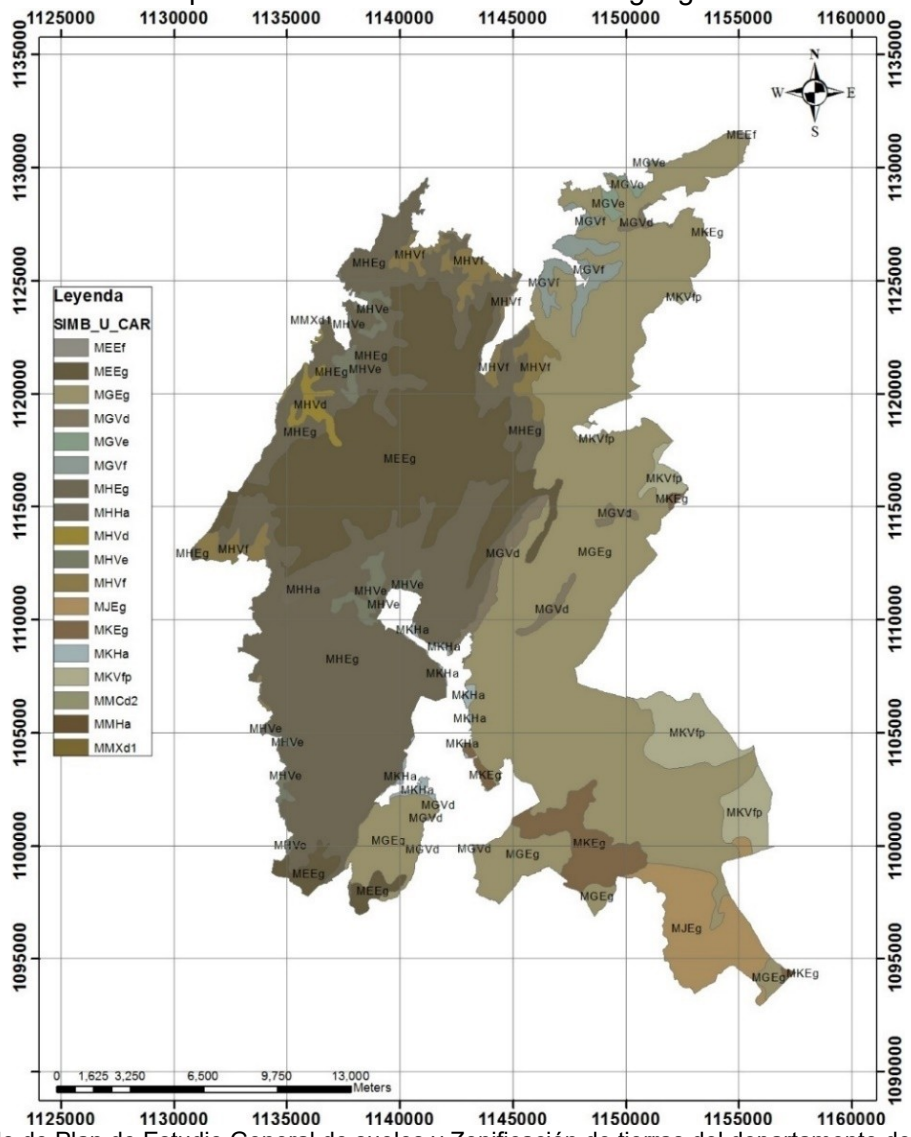
La unidad está integrada por Lithic Dystrocryepts 30%, Humic Dystrocryepts 25%, Typic Haplohemists 25% y Afloramientos Rocosos 20%. Los suelos Lithic Dystrocryepts, han evolucionado de rocas sedimentarias, principalmente lutitas. Son suelos superficiales y bien drenados; químicamente tienen reacción extremadamente ácida, alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo; presentan una saturación de aluminio mayor del 90%. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Humic Dystrocryepts, han evolucionado de rocas sedimentarias, principalmente areniscas; son suelos moderadamente profundos, limitados por arenisca en alto grado de meteorización y bien drenados; químicamente tienen reacción muy fuertemente ácida, muy alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo; la saturación de aluminio es mayor del 80% y la fertilidad es moderada

Los suelos Typic Haplohemists, evolucionados a partir de material orgánico, Son suelos muy superficiales con un drenaje de tipo pantanoso; químicamente tienen reacción extremadamente

ácida a muy fuertemente ácida, una muy alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo; presentan una baja saturación de bases y su fertilidad natural es baja.

Ilustración 28. Mapa de Suelos del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí-Ocetá



Fuente. Tomado de Plan de Estudio General de suelos y Zonificación de tierras del departamento de Boyacá (IGAC, 2005).

Complejo Humic Lithic Dystrudepts-Afloramientos Rocosos. Símbolo MGE.

Este grupo de suelos se localiza en Mongua y Aquitania, Chita y Socha, en altitudes superiores a los 3000 metros, correspondiente al clima muy frío y muy húmedo, caracterizado por tener una temperatura media anual de 8° C y una pluviosidad inferior a 2.000 mm. La litología es variada, en donde dominan las rocas de areniscas y lutitas.

Los suelos Humic Lithic Dystrudepts se ubican en las laderas de mayor pendiente; han evolucionado a partir de areniscas. Son suelos muy superficiales y excesivamente drenados; la reacción es

extremadamente ácida, tienen alta capacidad de intercambio catiónico y bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo; la saturación de aluminio es mayor del 80% y su fertilidad natural es baja.

Asociación Typic Hapludands – Humic Dystrudepts.Símbolo MGV

La unidad cartográfica se localiza en los municipios de Mongua y de Aquitania, en altitudes de 3000 a 3600 metros, en un clima muy frío muy húmedo, donde la temperatura media anual llega a ser de 8° C y la precipitación promedio anual inferior a los 2000 milímetros. La asociación se encuentra sobre rocas del tipo areniscas y lutitas, recubiertas por gruesas capas de ceniza volcánica.

Los suelos Typic Hapludands, han evolucionado a partir de cenizas volcánicas, son suelos son muy superficiales, limitados por contenidos tóxicos de aluminio, y bien drenados; químicamente tienen una reacción muy fuerte a muy fuertemente ácida, muy alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo; saturación de aluminio mayor del 60%. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Humic Dystrudepts, han evolucionado a partir de rocas sedimentarias, principalmente arcillolitas, son muy superficiales, debido a niveles tóxicos de aluminio, y bien drenados; químicamente tienen reacción muy fuertemente ácida, muy alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio potasio y fósforo; presentan una saturación de aluminio mayor del 75%. La fertilidad natural es baja.

Complejo Lithic Udorthents - Oxic Dystrudepts – Afloramientos Rocosos. Símbolo MHE.

Esta unidad se localiza en los municipios de Sogamoso, Monguí, noroeste de Mongua y en menor proporción al noreste de Aquitania. en alturas que oscilan entre los 3000 y 3600 m.s.n.m., correspondiente a un clima muy frío, húmedo, el cual se caracteriza por tener una temperatura media de 10ºC y una precipitación promedio anual de 750 milímetros. Originados a partir de rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones limoarcillosas, con recubrimiento de ceniza volcánica en sectores de poca extensión.

Los suelos Lithic Udorthents comúnmente se pueden encontrar en superficie, capas delgadas de residuos orgánicos en proceso de mineralización, sepultando material mineral de textura franco-limosa. Son suelos muy superficiales debido a niveles tóxicos de aluminio, bien drenados. Tienen reacción extremadamente ácida, capacidad de intercambio catiónico baja y una saturación de aluminio mayor del 75% en el horizonte A. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Oxic Dystrudepts, son muy superficiales por contenidos tóxicos de aluminio, de reacción fuertemente ácida, con muy bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo; la saturación de bases es baja y también la fertilidad natural.

Asociación Typic Hapludands – Humic Pachic Dystrudepts – Typic Dystrudepts. Símbolo MHV.

La Asociación se ubica en los municipios de Monguí y Mongua y en un pequeño sector al suroccidente de Aquitania, con altitud entre los 3000 y 3600 metros, dentro de un clima muy frío húmedo (páramo bajo), caracterizado por tener una temperatura media anual de 10ºC y una precipitación promedio anual de 500 mm. Estos suelos se han originado principalmente de ceniza volcánica que recubren rocas sedimentarias.

Los suelos Typic Hapludands, son muy superficiales, por contenidos tóxicos de aluminio, y bien drenados. La reacción es muy fuertemente ácida; la capacidad de intercambio catiónico es moderada y los contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforos son bajos; la saturación de aluminio de cambio es mayor del 70%. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Humic Pachic Dystrudepts, son muy superficiales debido a niveles tóxicos de aluminio, bien drenados, de reacción extremada a muy fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico baja y contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforos muy bajos; la saturación de aluminio de cambio es mayor del 90% y la fertilidad natural es baja.

Asociación Humic Endoaquepts - Aeric Endoaquepts. Símbolo MHH

La Asociación se localiza al norte del municipio de Aquitania, entre los 3000 y 3600 m.s.n.m, dentro de un clima muy frío húmedo, caracterizado por tener una temperatura media anual de 10°C y una precipitación promedio anual entre 500 y 1000 milímetros

Los suelos Humic Endoaquepts, Son suelos superfi ciales, limitados por fl uctuaciones del nivel freático y niveles tóxicos de aluminio, pobremente drenados; químicamente tienen reacción fuertemente ácida, contenidos muy altos de carbón orgánico y bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo; la saturación de aluminio es mayor del 75% y la fertilidad natural es muy baja.

Los suelos Aeric Endoaquepts, son moderadamente profundos, limitados por fluctuaciones del nivel freático e imperfectamente drenados; químicamente tienen reacción fuerte a muy fuertemente ácida y saturación de aluminio a partir de los 25 cm de profundidad inferior al 52%. La fertilidad natural es alta.

Complejo Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents – Afloramientos Rocosos. Símbolo MJE.

La unidad cartográfica se localiza al sur del área de estudio, en un pequeño sector al oriente del municipio de Aquitania, vereda Toquilla, entre los 2000 y 3000 m.s.n.m., dentro de un clima frío, pluvial, caracterizado por tener una temperatura media anual de 16°C y una precipitación promedio anual superior a los 4000 milímetros.

Los suelos Typic Dystrudepts, son moderadamente profundos, limitados por roca y bien drenados; químicamente tienen reacción fuerte a muy fuerte ácida, capacidad de intercambio catiónico muy alta a moderada y una saturación de aluminio mayor del 70% en la capa superficial. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Lithic Udorthents, son suelos muy superficiales, limitados por roca y excesivamente drenados; químicamente tienen reacción extrema ácida muy alta capacidad de intercambio catiónico y presentan una saturación de aluminio mayor del 80%. La fertilidad natural es baja.

Complejo Lithic Udorthents – Typic Dystrudepts – Afloramientos Rocosos. Símbolo MKE.

Se localizan al sur del área de estudio, en un pequeño sector al oriente del municipio de Aquitania, vereda Toquilla, a una altitud de 2000 a 3000 metros, dentro de un clima frío muy húmedo, caracterizado por tener una temperatura media anual de 16°C y una precipitación promedio anual entre de 2000 y 4000 mm, se han originado a partir de rocas sedimentarias cubiertas, en amplios sectores, por capas de ceniza volcánica.

Los suelos Lithic Udorthents, son suelos superficiales, limitados por roca y bien drenados; químicamente tienen reacción extremadamente ácida, capacidad de intercambio, catiónico muy alta en el primer horizonte y muy baja en el horizonte C; presenta una saturación de aluminio mayor del 60%. La fertilidad natural es muy baja.

Los suelos Typic Dystrudepts, se han formado a partir de areniscas con intercalaciones de shales. Son superficiales, debido a contenidos altos de aluminio, y bien drenados; químicamente manifiestan una reacción ácida extremada a muy fuerte ácida, tienen contenidos de carbón orgánico, muy alta capacidad de intercambio catiónico y una saturación de aluminio de cambio mayor del 90%. La fertilidad natural es baja.

Asociación Typic Hapludands - Andic Dystrudepts – Typic Dystrudepts. Símbolo MKV

La unidad cartográfica se manifiesta en un clima ambiental frío muy húmedo, dentro de los municipios de Monguí y Mongua, se presenta en altitudes entre los 2000 y los 3000 msnm. Las temperaturas oscilan entre 12 y 18°C y las lluvias anuales superan los 2000 milímetros, su origen está dado por rocas del tipo gneis, esquistos y calizas. Los suelos Typic Hapludands, son suelos muy superficiales y bien drenados; químicamente tienen reacción muy fuerte a fuertemente ácida, una muy alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de aluminio mayor del 60%. La fertilidad natural es baja.

Los suelos Andic Dystrudepts, Son suelos muy superficiales y bien drenados; químicamente tienen reacción ácida muy fuerte, una muy alta capacidad de intercambio catiónico y una saturación de aluminio de cambio mayor del 90%. La fertilidad natural es baja.

En la tabla 2 describen las nueve 9 unidades cartográficas de suelos que se distinguen en el área del PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí-Ocetá, de acuerdo con su Paisaje, Clima, Tipo de Relieve, componente taxonómico y a las características del relieve y suelos.

Tabla 15. Unidades cartográficas de suelos presentes en el PNR Unidad Biogeográfica Siscunsí-Ocetá

Paisaje	Símbolo	Clima	Características del Relieve y suelos	Componentes taxonomicos	Localización
Montañas estructurales	MEEF MEEg	Extremadamente frío, húmedo y muy húmedo	Relieve moderado a fuertemente escarpado, con pendientes superiores a 50%, paisajes modelados previamente por glaciares y posteriormente afectados por meteorización física y erosión glaciaríca, donde procesos de ablación han originado en algunos sectores.	Complejo Lithic Dystrocryepts Humic Dystrocryepts Typic Haplohemists Afloramientos Rocosos	Se localizan en gran proporción al norte y centro del área, en los municipios Aquitania, Sogamoso, Monguí y Mongua.

	MGEg	muy frío, muy húmedo	Relieve fuertemente escarpado, con pendientes superiores a 50%, suelos superficiales a moderadamente profundos, limitados por contenidos tóxicos de aluminio; reacción extremadamente ácidos y de fertilidad baja.	Complejo Humic Lithic Dystrudepts Afloramientos Rocosos Typic Hapludands	Es el tipo de suelos con más presencia en el área de estudio, ubicados al noreste de los municipios de Mongua y Aquitania.
	MGVd MGVe MGVf		Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75% afectados en sectores por fragmentos de roca en superficie, procesos de remoción en masa y erosión hídrica; los suelos son superficiales, limitados por niveles tóxicos de aluminio (SAL>60%), bien drenados, reacción fuerte a muy fuertemente ácida y fertilidad baja.	Asociación Typic Hapludands Humic Dystrudepts	Se localizan al límite norte del área de estudio, al noreste de los municipios de Mongua y de Aquitania.
	MHEg		Relieve moderado y fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%, suelos físicamente sin limitantes en su profundidad, pero químicamente superficiales por presentar saturación de aluminio mayor del 75%, bien drenados, de texturas medias con gravilla, reacción extremadamente ácida, y fertilidad baja.	Complejo Lithic Udorthents Oxic Dystrudepts Afloramientos Rocosos	Se localizan en gran proporción al occidente del área, en los municipios de Sogamoso, Monguí, noroeste de Mongua y en menor proporción al noreste de Aquitania.
	MHHa	Muy Frio Húmedo	Relieve plano a ligeramente inclinado, con pendientes 1-3% y 3-7%; afectados por pedregosidad en superficie, suelos superficiales, por nivel freático fluctuane y saturación de aluminio mayor del 75%, imperfectamente drenados, de texturas medias a gruesas, reacción fuerte a muy fuertemente ácida, y fertilidad muy baja.	Asociación: Humic Endoaquepts Aeric Endoaquepts	Se localiza en un pequeño sector al norte del municipio de Aquitania.
Montañas estructurales	MHVd MHVe MHVf	Muy Frio Húmedo	Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75%, suelos muy superficiales por saturación de aluminio mayor del 70%, bien drenados, texturas medias, reacción muy fuertemente ácida, y fertilidad baja.	Asociación Typic Hapludands Humic Dystrudepts	Se distribuyen hacia el noroccidente y en muy pequeña proporción hacia borde suroccidente del área de estudio. En los municipios de Monguí y Mongua y en un pequeño sector al suroccidente de Aquitania.
	MJEg	Frio Pluvial	Relieve fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 75%; corresponden en su gran mayoría a formaciones estructurales rocosas y suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas medias con gravilla, reacción extremadamente ácida, saturación de aluminio mayor del 80% y fertilidad baja.	Complejo: Typic Dystrudepts Lithic Udorthents	Se localiza al sur del área de estudio, en un pequeño sector al oriente del municipio de Aquitania, vereda Toquilla.

	MKEg		Relieve fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 75%; afectados por pedregosidad superficial, suelos muy superficiales, limitados por saturación de aluminio mayor del 80%, bien drenados, de texturas medias con gravilla, reacción extremadamente ácida, y fertilidad baja.	Complejo: Lithic Udorthents Typic Dystrudepts Afl oramientos Rocosos	Se localizan al sur del área de estudio, en un pequeño sector al oriente del municipio de Aquitania, vereda Toquilla.
	MKHa		Relieve plano con pendientes 1-3%; hay evidencia de erosión hídrica y presentan pedregosidad en superficie. Los suelos son moderadamente profundos a superficiales, limitados por saturaciones de aluminio mayor del 70%, bien drenados, de texturas medias, reacción fuertemente ácida y fertilidad muy baja.	Asociación Oxic Dystrudepts Typic Udifl uvents	Se localizan al sur del área de estudio, en un pequeño sector al oriente del municipio de Aquitania, vereda Toquilla Se encuentra asociado a los depósitos aluviales.
	MKVfp	Muy Frío y Frío, húmedo	Relieve moderado a fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%; afectados por erosión hídrica, laminar y pedregosidad superfi cial. Los suelos son superfi ciales, limitados por contenidos tóxicos de aluminio (SAl mayor del 60%), moderadamente bien drenados, de texturas medias a fi nas con gravilla, reacción extremadamente ácida, y fertilidad muy baja a moderada.	Asociación: Typic Hapludands Andic Dystrudepts Typic Dystrudepts	
Montañas estructurales	MMXdl	Cálido, húmedo	Relieve moderado a fuertemente quebrado, con pendientes 12-25% y 25-50%, afectados por escurrimiento difuso en grado ligero y pedregosidad; suelos moderadamente profundos, moderado y bien drenados, de texturas franco-finas con gravilla, reacción fuerte a moderadamente ácida, saturación de aluminio mayor del 80% a partir de los 60 cm, y fertilidad baja a muy alta.	Asociación: Typic Eutrudepts Typic Udorthents Humic Dystrudepts	Se localizan en un pequeño sector al noroccidente del área, en la vereda Hato Viejo del municipio Monguí.

Fuente. Tomado de Estudio General de suelos y Zonificación de tierras del departamento de Boyacá (IGAC, 2005)

7 CLIMA

El componente climático comprende los parámetros de la Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa, Vientos, Radiación, Brillo Solar, Nubosidad y Evapotranspiración Potencial.

Las estaciones meteorológicas tipo CP (climatológica principal) y tipo CO (Climatológica Ordinaria), poseen registros históricos de los parámetros climáticos descritos muy deficientes, con muchos años y meses incompletos, solamente la temperatura, nubosidad, humedad relativa y brillo solar contienen entre 2 y 7 años completos que dan alguna aproximación.

Las cinco (5) estaciones meteorológicas tipo PM (pluviométrica) y tipo PG (pluviográfica) contienen entre 32 y 37 años con registro completo de la precipitación y este mismo parámetro en las estaciones climatológicas, poseen un récord de años completos un tanto menor; sin embargo, se involucraron en los análisis. Con los resultados de las precipitaciones y la temperatura se generó la clasificación climática del área.

Las características de las estaciones meteorológicas e hidroclimáticas básicas depuradas para el actual estudio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Estaciones meteorológicas e hidro climatológicas básicas

CODIGO	TIPO	NOMBRE	SUBCUENCA	MUNICIPIO	COORD.	ELEV. (msnm)	FECHA INSTALACIÓN
24030640	PM	Esc Rural Nimicia	Sasa	Gámeza	05º 48´N 72º 46´W	3,200	Junio 1974
24030560	PM	Mongua	Sasa	Mongua	05º 45´N 72º 47´W	2,900	Abril 1971
24030190	PM	Monguí	Monguí	Monguí	05º 43´N 72º 50´W	2,970	Febrero 1958
35190010	PG	Las Cintas	Qda. Las Cintas	Sogamoso	05º 36´N 72º 52´W	3,400	Febrero 1971
35190020	PM	Toquilla	Cusiana	Aquitania	05º 31´N 72º 42´W	2,950	Abril 1971
35095010*	CO	Aquitania	Laguna de Tota	Aquitania	05º 32´N 72º 53´W	3,021	Diciembre 1970
24035150	CP	Belencito	Chicamocha	Duitama	05º 46´N 72º 53´W	2,530	Febrero 1967
24035340	CP	Apto. Lleras Camargo	Chicamocha	Duitama	05º 40´N 72º 58´W	2,500	Enero 1974

Fuente. IDEAM 2025.

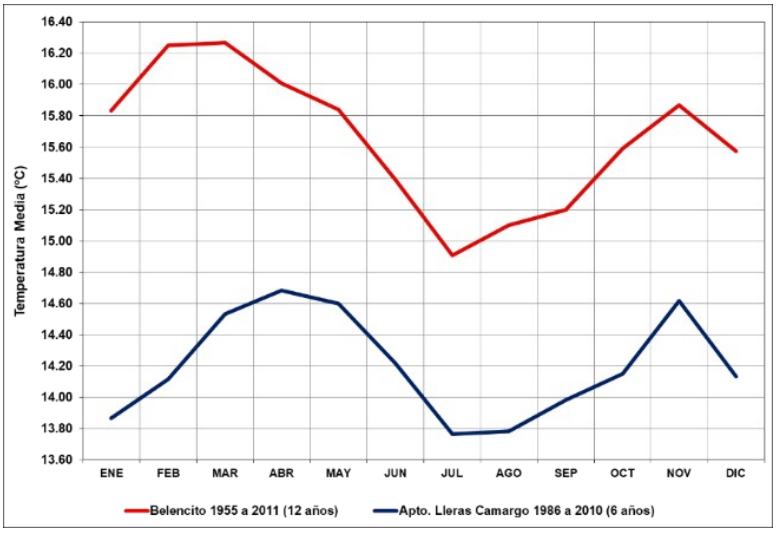
Parámetros Climáticas Básicos

Los parámetros climáticos de las estaciones meteorológicas son muy deficientes e incompletos, por esta razón tan solo en las estaciones climatológicas Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo, las Temperaturas medias, máximas y mínimas, la Nubosidad, el Brillo Solar y la Humedad Relativa, poseen unos pocos años completos de los cuales se extrajeron los valores medios mensuales, cuyas gráficas de su variación durante el año se presentan en el presente subcapítulo.

Temperatura Media Mensual Multianual

La temperatura media anual de las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo, son de 15.7 y 14.2 ºC, siendo los meses de marzo, abril y noviembre los de mayor temperatura media, en tanto que los meses de enero, Julio y agosto son los de menor temperatura, según se aprecia en la ilustración 40.

Ilustración 29. Distribución temperatura media mensual multianual. Estación Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo

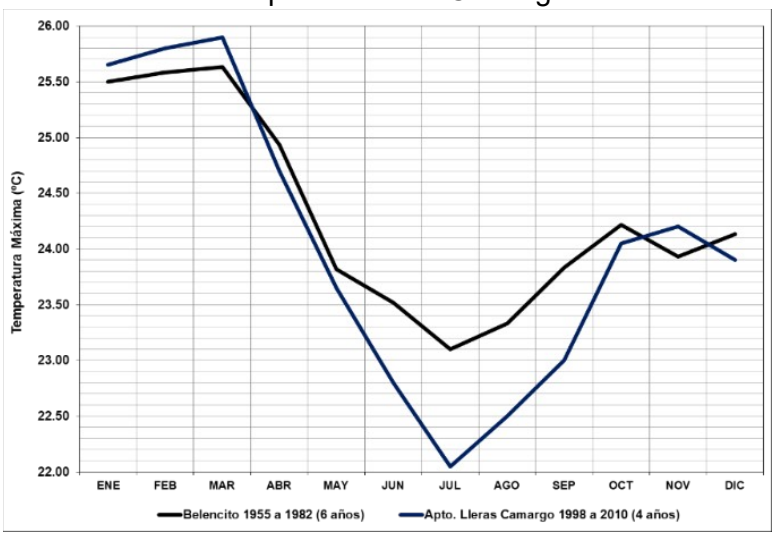


Fuente. IDEAM

Temperatura Maxima Mensual Multianual

La temperatura máxima anual en las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo, son muy similares de 25.6 y 25.9ºC, siendo los meses de enero a marzo los más calurosos, en tanto que en el mes de Julio ocurren las temperaturas máximas más bajas, según se aprecia en la ilustración 41.

Ilustración 30. Distribución temperatura máxima mensual multianual. Estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo

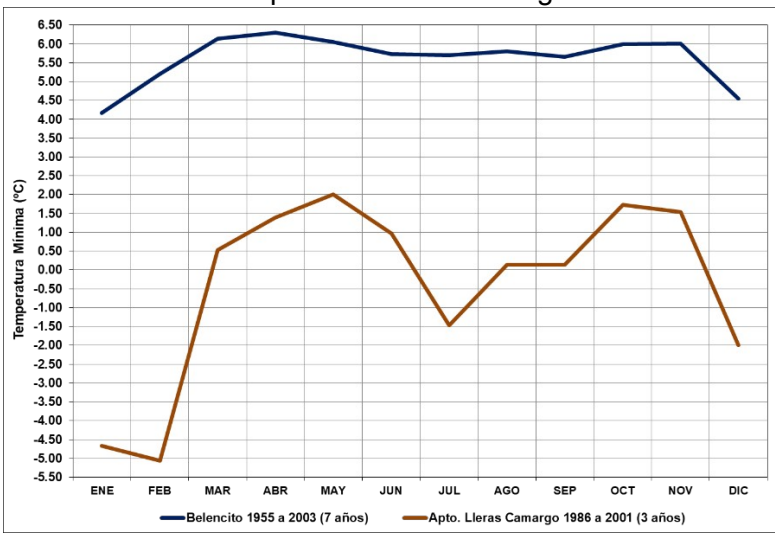


Fuente. IDEAM

Temperatura Mínima Mensual Multianual

Las temperaturas mínimas anuales son más bajas en la estación Aeropuerto Lleras Camargo hasta de -5ºC, siendo los meses de enero y febrero los más fríos, según se aprecia en la ilustración 42.

Ilustración 31. Distribución temperatura mínima mensual multianual. Estación Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo

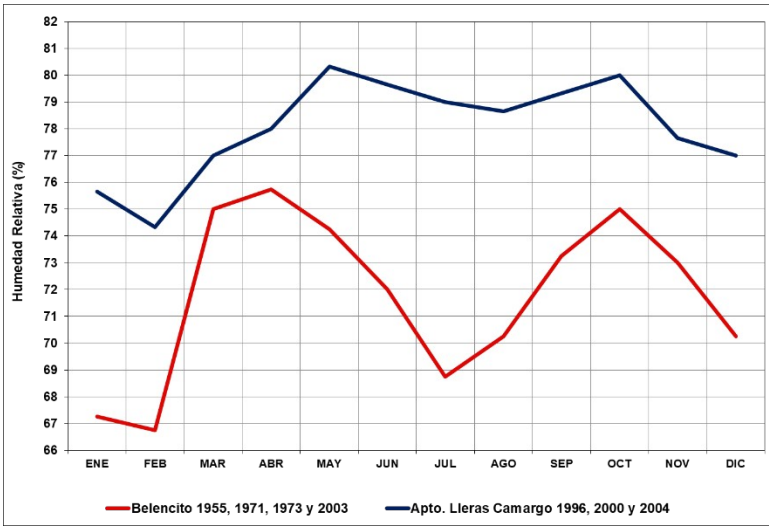


Fuente. IDEAM

Humedad Relativa

La humedad relativa presenta en las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo una distribución de tipo bimodal durante el año, con mayores valores en los meses de abril a mayo en el primer semestre y octubre en el segundo, mientras que los meses de enero y febrero son los de menor humedad relativa, según se presenta en la ilustración 43.

Ilustración 32. Distribución de la humedad relativa media multianual. Estación Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo

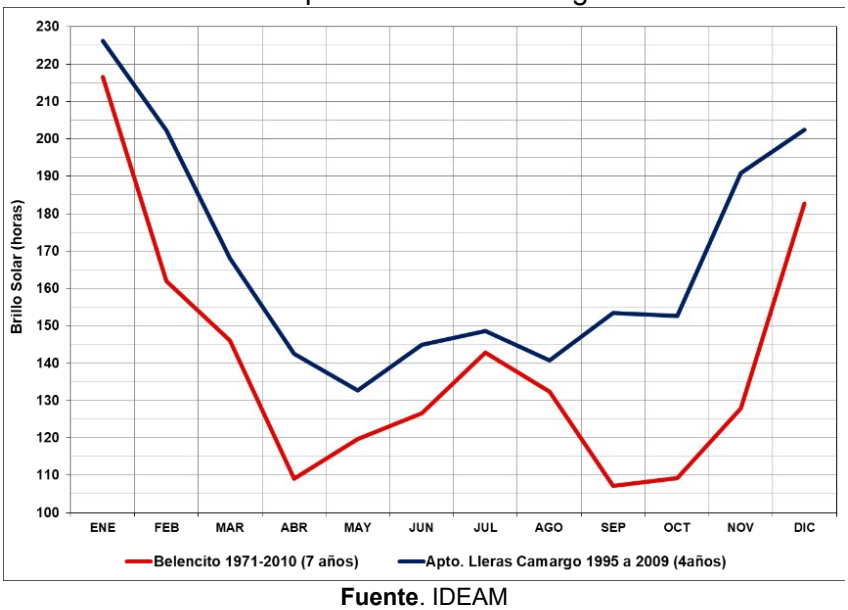


Fuente. IDEAM

Brillo Solar

El brillo solar en las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo, presenta una distribución de tipo bimodal durante el año, con mayores valores en los meses de diciembre y enero del período de verano y menores en los meses de abril a septiembre a mediados del año, según se presenta en la siguiente figura.

Ilustración 33. Distribución del brillo solar medio mensual multianual. Estación Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo



Fuente. IDEAM

Nubosidad

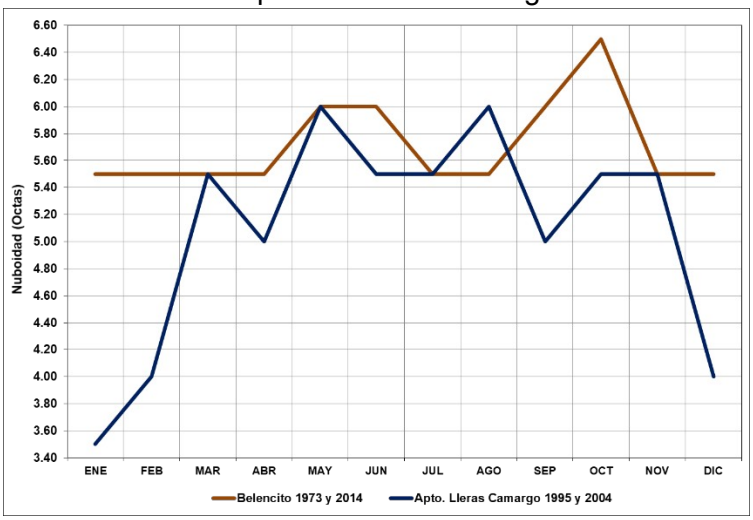
Según la definición de la OMM, una nube es un conjunto visible de minúsculas partículas de agua líquida o de hielo, o de ambas a la vez, en suspensión en la atmosfera (Retallack, 1973). El principal parámetro meteorológico responsable de la producción de nubes cuando hay movimientos verticales

ascendentes es la humedad. En particular se requiere de alto contenido de vapor de agua, por lo menos en capas bajas y medias de la atmosfera para que se desarrollen nubes de tipo convectivo y orográfico.

La medición de las nubes se hace tomando la fracción de cielo cubierto en un lugar determinado y se expresa en octas u octavos de la bóveda celeste, respecto a la división imaginaria que realiza el observador de la estación meteorológica en ocho (8) partes y establece el área cubierta por nubes. En referencia a este parámetro, es típico que presente un comportamiento directamente proporcional a la precipitación, siendo por lo general más alta en los meses de mayor lluvia.

La información histórica de las estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo, presntan una nubosidad máxima en los meses de mayo a octubre, en tanto que las más bajas se presentan en los meses de diciembre a febrero, distribuciones mensuales durante el año que se presentan en la ilustración 45, siendo el promedio anual muy similar en ambas estaciones de 5.7 y 5.1 octas respectivamente, lo que significa que en general el cielo se encuentra nublado durante gran parte del año.

Ilustración 34. Distribución de la nubosidad mensual multianual. Estaciones Belencito y Aeropuerto Lleras Camargo



Fuente. IDEAM

RIO CHICAMOCHA

La cuenca del Río nace a los 2786 m.s.n.m, en el límite municipal de los municipios de Sivata, Toca, Siachoque -Departamento de Boyacá-. Desemboca en el Río Sogamoso a los 421m.s.n.m luego de recorrer 223 Km, drenando un área aproximada 9574,3 Km2 (IDEAM, 2013)

Este cauce se caracteriza por presentar pendientes medias a altas, resulta muy sensible a precipitaciones de alta intensidad y de corta duración, dada la etapa erosional que desarrolla. El tiempo de concentración es muy corto por lo cual una tormenta de gran intensidad, por muy corta duración que tenga, puede superar el tiempo de concentración de la cuenca, lo cual hace que se

pueda alcanzar perfectamente el pico de la crecida, con la contribución del escurrimiento de toda la superficie.

El Río Chicamocha, a la altura del punto de captación del acueducto el Mortiñal se ubica en la cuenca alta se destaca por su configuración rectilínea, canal encajonado y pocas curvaturas, característico de una cuenca de montaña.

Tabla 17. Localización de la estación puente Chámeza, río Chicamocha

Código	Nombre	CAT	Corriente	Municipio	Instalación	Coordenada Magna Sirgas Origen Bogotá	
						ESTE	NORTE
24037290	PUENTE CHAMEZA	LG	Río Chicamocha	Nobsa	15/2/1971	1’129.708,07	1’128.817,62

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Caudales medios mensuales multianuales

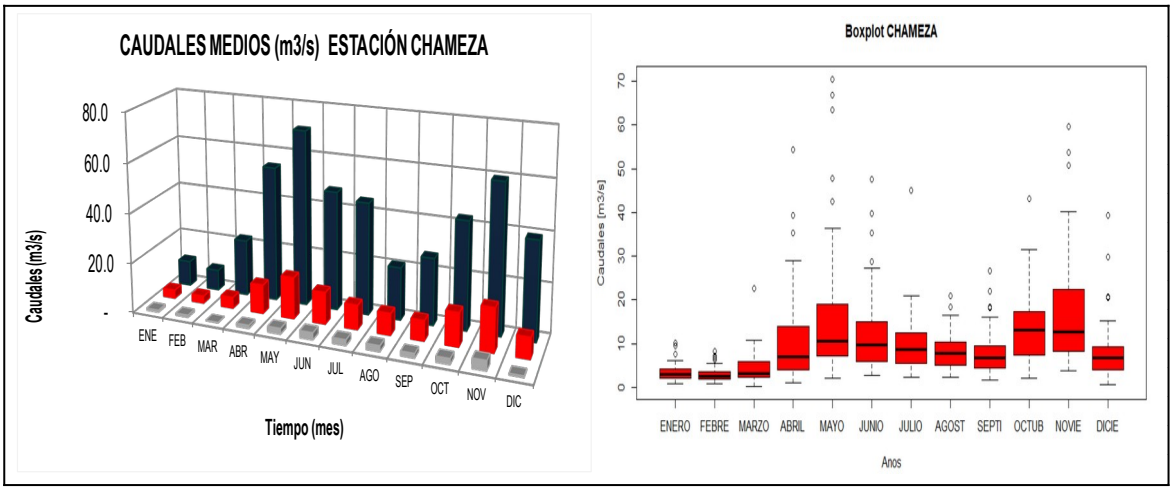
El régimen hidrológico, refleja el comportamiento de lluvias característico de la región de Andina, influenciado por una transición de la Zona de Convergencia Intertropical, que va del régimen monomodal de la zona Caribe norte, a un régimen bimodal de la zona Andina. De acuerdo a esto, se presenta entonces un período de aguas altas o de gran caudal entre los meses de abril a julio, y de octubre a diciembre con valores máximos de 27,82 m3/s. El periodo de aguas bajas o poco caudal se da entre enero a marzo, teniendo que el mes con los caudales más bajos en el año es marzo con un valor mínimo de 0,10 m3/s. El análisis realizado corresponde a un periodo de análisis de 20 años de la estación.

Tabla 18. Resumen de Caudales medios mensuales multianuales

CAUDAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Mínimo (m3/s)	0,70	0,83	0,10	1,10	2,12	2,66	2,19	2,23	1,64	2,10	3,78	0,52	3,17
Máximo (m3/s)	10,16	8,27	22,63	54,32	70,56	47,60	44,95	20,97	26,61	43,04	59,60	39,26	27,82
1° Cuartil	2,08	1,77	2,25	3,90	7,14	5,91	5,46	5,29	4,33	7,46	8,18	3,96	6,79
Mediana (m3/s)	2,84	2,40	3,13	6,95	10,47	9,64	8,54	7,80	6,63	13,00	12,69	6,65	8,79
3° Cuartil (m3/s)	4,14	3,55	5,75	13,97	18,98	14,96	12,50	10,28	9,43	17,22	22,47	9,18	12,38
Media (m3/s)	3,33	2,89	4,42	11,50	16,54	12,66	9,65	8,55	8,00	13,22	17,22	8,29	9,69

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Ilustración 35. Caudales medios (m3/s) de la estación Chameza.



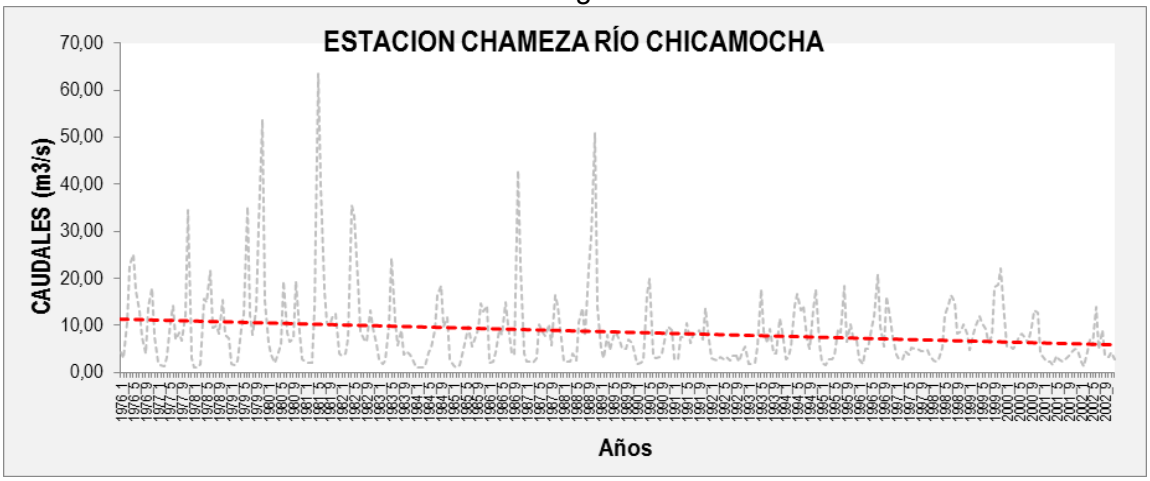
Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Hidrograma de caudales río Chicamocha

El hidrograma anual representa el flujo característico de una serie continúa evaluada para una variable hidrológica. De los datos de caudal medio se evidencia que tienen un régimen perenne o de flujo continuo característico de cuencas que son permanentes. Los picos, que se originan en las tormentas, se conocen como escorrentía directa o flujo rápido, mientras que el flujo con pocas variaciones en los periodos sin lluvias se llama flujo base. El volumen total de flujo bajo del hidrograma es la capacidad de la cuenca, lo cual indica que a mediana proporción la lluvia se infiltra en la cuenca y alcanza el río como flujo subsuperficial.

Se observa que la escorrentía ha ido en descenso en el tiempo, situación que está asociado a la alta demanda de agua que tiene su cuenca alta a lo largo del cauce.

Ilustración 36. Hidrograma caudales río Chicamocha



Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Cálculo del caudal ecológico para determinación de la oferta

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010; 2014), el caudal ecológico y ambiental se define como aquel volumen de agua que permite mantener el funcionamiento, la estructura y la composición del ecosistema fluvial en condiciones cercanas a su estado natural, asegurando la preservación de sus valores ecológicos, hábitats y funciones ambientales esenciales, tales como la purificación del agua, la amortiguación de eventos hidrológicos extremos, y el soporte para actividades como la pesca y la recreación (Davis y Hirji, 1999; García de Jalón y González del Tánago, s.f., citados por IDEAM, 2010; 2014).

La estimación del caudal ambiental se realiza a partir del análisis del régimen hidrológico mediante la construcción de la curva de duración de caudales, la cual sintetiza el comportamiento del caudal en un punto específico dentro de la unidad hídrica en estudio. Esta herramienta permite identificar el comportamiento hidrológico característico y establecer valores de referencia para conservar el equilibrio entre el aprovechamiento del recurso hídrico y la integridad ecológica del ecosistema acuático.

La incorporación del caudal ambiental en los procesos de gestión del recurso hídrico se encuentra respaldada normativamente por el Decreto 3930 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), el cual lo define como el volumen de agua requerido, en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para garantizar tanto la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos como el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente hídrica. Esta consideración resulta fundamental para asegurar una gestión integral del recurso, basada en principios de sostenibilidad y conservación ambiental.

Curva de duración de caudales

La curva de duración de caudales es una herramienta hidrológica que representa el porcentaje de tiempo en el que un determinado caudal es igualado o superado durante un período de análisis. Esta herramienta resulta fundamental para la evaluación del recurso hídrico superficial, especialmente en contextos de uso y aprovechamiento, ya que permite determinar si una fuente hídrica posee la capacidad suficiente para atender una demanda específica de forma sostenida.

En el caso de la zona de estudio, la forma de la curva de duración refleja las características hidrológicas de una cuenca de montaña. Se observa una pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva, lo cual indica que los caudales altos ocurren con baja frecuencia y durante periodos de corta duración, en concordancia con eventos de precipitación intensos y breves. Este comportamiento es típico de cuencas con alta pendiente, cobertura vegetal variable y respuesta rápida a eventos de lluvia.

A continuación, se presentan los registros de los caudales característicos, así como la forma típica de la curva de duración de caudales medios construida a partir de los datos de la estación hidrológica Chámeza, los cuales respaldan el análisis del régimen de escorrentía y su variabilidad temporal en la fuente hídrica en estudio.

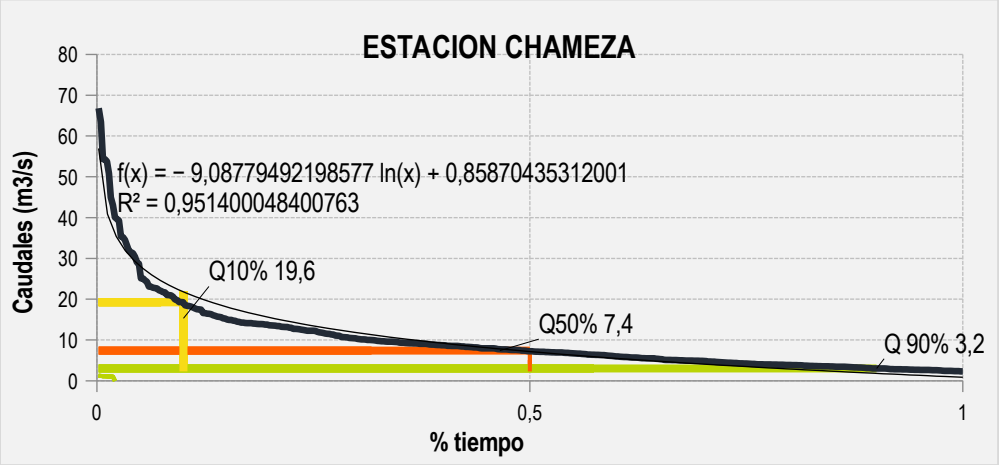
Tabla 19. Caudales característicos de la curva de duración de caudales.

REGISTROS	CAUDALES (m3/s)
Registro 10%, O Caudal De Aguas Altas (m3/s)	19,26
Registro 50%, O Caudal Promedio (m3/s)	7,40
Registro Del 75%, O Caudal Ecológico (m3/s)	4,21

REGISTROS	CAUDALES (m3/s)
Registro Del 85%, O Caudal Ecológico (m3/s)	3,48
Registro Del 90%, O Caudal Base (m3/s)	3,02
Registro Del 95%, O Caudal Ecológico (m3/s)	2,67

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Ilustración 37. Curvas de duración de caudales rio Chicamocha.



Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Por lo anterior se puede apreciar el caudal ambiental o ecológico, que algunos autores como Chiang consideran es el que permanece el 95% de tiempo, importante para la adecuada planificación del recurso hídrico. El observado en la estación Chámeza es de 2,67 m3/s.

7.1 ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA, IRH

El Índice de retención y de regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelos vegetación con las condiciones climáticas, con las características físicas morfométricas de la cuenca y la interacción de los usos de la cuenca. Este regulador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto.

Para el Estudio Nacional del Agua –ENA-, el índice se calculó con base en la curva de duración de caudales medios. Esta curva permite reconocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos medios de caudales, 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.

La expresión matemática de cálculo es la siguiente:

$$IRH= VP/Vt$$

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 (Q 50%)

Vt: Volumen total representado por el área de la curva de duración de caudales

A cada rango se le asigna una calificación, cualitativa, que corresponde a la descripción que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 20. Calificación de los rangos del IRH

RANGOS 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 – 0,075	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0,50 – 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
<50	Muy Baja	Muy Baja retención y regulación de humedad

Fuente. Presente estudio a partir de Datos tomados del Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010, 2014)

Para la obtención de los valores representados en los volúmenes al 50% y al 100% del tiempo se integra la ecuación en la curva de duración de caudales, que de acuerdo al R2 la función logarítmica es la que mejor se ajusta a los datos, los resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla, en donde se demuestra que la regulación hídrica en esta cuenca es muy baja.

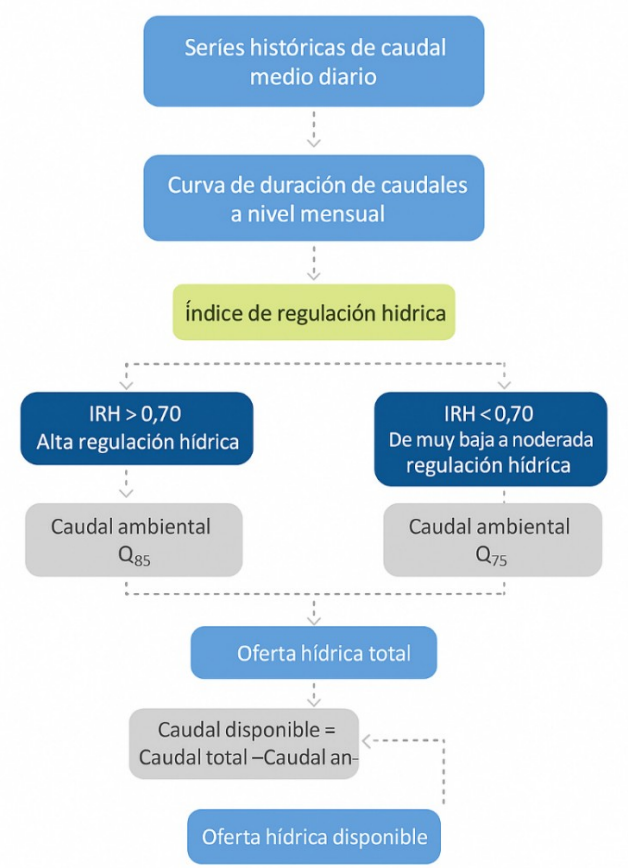
Tabla 21. Resultado del cálculo de Índice de Regulación Hídrica IRH cuenca del río Chicamocha.

Cuenca	Ecuación	R 2	VP (50%)	Vt (100)	Índice de regulación Hídrica	
Río Chicamocha	$\int_0^{\frac{50}{100}} \left(-9.088 \log_x 0.8587\right)_{dx}$	0,97	1278,8	3189,07	0,41	Muy baja

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

El Estudio Nacional del Agua señala que las cuencas con autorregulación alta y poca variabilidad de caudales, se considera representativo el valor característico Q85% de la curva de duración, este valor se aplica a valores de IRH igual o superior a 0,70. El segundo grupo corresponde a valores inferiores a 0,70, para las cuales se les asigna el valor característico Q 75% de la curva de duración de caudales.

Ilustración 38. Proceso metodológico para la obtención del caudal ecológico



Fuente. Proceso metodológico señalado en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010, 2014)

Por lo anterior se concluye que la cuenca del río Chicamocha aplica el caudal ecológico igualado o excedido el 75% el cual corresponde a 4,21m3/s. A partir de este análisis se puede determinar la real oferta hídrica de la corriente

Oferta hídrica total río Chicamocha

Como se presenta en la metodología del Estudio Nacional del Agua, corresponde a la diferencia entre el caudal total y el ambiental, con lo cual se obtiene la oferta hídrica disponible.

Tabla 22. Oferta hídrica Total

CAUDAL	AÑO
Caudal Medio (m3/s)	9,69
Q ecológico (m3/s)	4,21
Oferta Hídrica disponible (m3/s)	5,48

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

SUBCUENCA RÍO CHIQUITO

El análisis espacial de subcuencas muestra estimaciones de precipitación máxima en 24 horas para periodos de retorno entre 2 y 500 años, los valores varían desde 33,3 mm hasta 181,5 mm. A nivel general, las subcuencas evidencian distintos niveles de sensibilidad frente al aumento de los periodos de retorno, mientras algunas, como la Quebrada Toibita, presentan incrementos muy marcados, otras muestran variaciones más moderadas. En este último grupo destacan las subcuencas del Río Chiticuy y Río Chiquito, lo que indica que, aunque el Río Chiquito registra la precipitación mínima para Tr de 2 años, su comportamiento frente a eventos de mayor magnitud resulta menos pronunciado en comparación con otras unidades.

Ilustración 39. Precipitaciones máximas para cada periodo de retorno a nivel de cuenca y subcuencas

Sub Cuenca Hidrográfica	Precipitación (mm) para los diferentes Tr (años)									
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500
Río Chiquito	33.3	43.7	50.9	55.1	58.2	60.6	62.7	68.7	77.9	109.7
Río Chiticuy	39.3	54.1	71.4	85.8	98.7	110.8	122.2	164.0	256.1	863.7
Quebrada El Aroma	38.7	48.6	55.3	59.5	62.9	65.7	68.3	77.0	94.3	197.5
Río Surba	38.2	48.8	56.7	61.9	65.9	69.3	72.2	81.9	99.8	194.0
Quebrada Toibita	37.4	48.1	56.0	61.0	64.7	67.8	70.5	79.0	94.0	164.6
Río Sotaquirá	39.8	51.3	59.5	64.4	67.9	70.8	73.2	80.3	91.6	133.5
Río de Piedras	37.1	47.6	55.1	59.7	62.9	65.5	67.6	73.7	82.6	106.3
Río Jordán o (Río Chulo)	33.4	42.8	49.3	53.1	55.8	58.0	59.8	64.9	72.2	91.9
Río Tuta	35.3	46.4	54.7	59.7	63.4	66.4	68.9	76.3	87.6	121.2
Quebrada Honda Grande	35.8	47.1	55.5	60.6	64.5	67.6	70.2	78.3	91.2	140.5
Directos Alto Chicamocha	36.0	47.4	55.9	61.2	65.3	68.7	71.6	81.0	97.9	181.5
Cuenca Alta del Río Chicamocha	35.3	46.2	54.2	59.2	63.1	66.2	68.9	77.4	91.9	157.6

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico, Tomo I. Pág 111

Estimación de curvas intensidad duración y frecuencia (IDF)

El análisis espacial de la precipitación en la cuenca alta del río Chicamocha, realizado mediante el método Kriging, muestra una precipitación media anual de 869 mm/año. A nivel de subcuencas, los mayores valores corresponden al Río Surba (1162,1 mm/año) y zonas de páramo como Rusia, Iguaque y Ocetá.

En la subcuenca del Río Chiquito, la influencia de los páramos de Ocetá y Sarna determina una alta oferta hídrica, con valores de precipitación superiores al promedio de la cuenca. Esta condición contrasta con las áreas bajas (Río Chulo y Tuta), que presentan mínimos de 774,3 mm/año y son catalogadas como áridas.

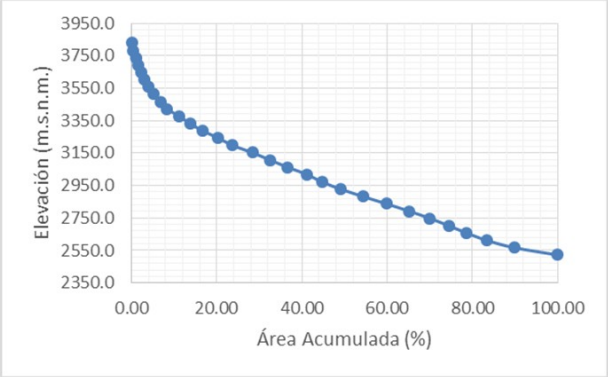
En cuanto a la variación temporal, la cuenca presenta mínimos de precipitación en enero (26,1 mm/mes) y máximos en abril (117 mm/mes), además de un segundo periodo lluvioso entre octubre y noviembre.

Ilustración 40. Distribución espacial de la precipitación media anual, para el periodo 1990-2014

Subcuencas hidrográficas	Precipitación promedio anual (mm)
Río Chiquito	809.7
Río Chiticuy	1054.2
Quebrada El Aroma	956.2
Río Surba	1162.1
Quebrada Toibita	1111.6
Río Sotaquirá	1226.9
Río de Piedras	1160.1
Río Jordán o (Río Chulo)	774.3
Río Tuta	746.5
Quebrada Honda Grande	874.2
Directos Alto Chicamocha	879.6

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico, Tomo I. Pág 114

Ilustración *41*. Curva Hipsométrica rio Chiquito



Ss= 86516.39
Si= 43913.16
Rh= 2.0
Descripción= Río viejo. Cuenca de valle que deposita sedimentos.

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico, Tomo I. Pág 114

En relación con el balance hídrico las subcuencas con mayores aportes son Río Chiquito, Directos alto Chicamocha, Río Tuta, Río Sotaquirá, Río Chulo y Río Surba, resaltando el Río Chiquito como una de las principales fuentes de abastecimiento hídrico de la cuenca.

Ilustración *42*. Balance hídrico de largo plazo a nivel de subcuencas

Subcuencas Hidrográficas	Área km2	Qm m3/s
Río Chiquito	538.93	3.04
Río Chiticuy	82.01	0.85
Quebrada El Aroma	28.29	0.21
Río Surba	72.86	0.96
Quebrada Toibita	19.27	0.21
Río Sotaquirá	140.22	1.86
Río de Piedras	54.76	0.67
Río Jordán o (Río Chulo)	317.82	1.46
Río Tuta	445.37	1.93
Quebrada Honda Grande	81.37	0.47
Directos Alto Chicamocha	366.06	2.09

Fuente. Tomado de Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha. Capitulo Diagnostico, Tomo I. Pág 136

8. DEMANDA HÍDRICA

La demanda hídrica total, de acuerdo con el Decreto 2930 de 2010, corresponde a la suma del volumen de agua utilizada para los diferentes usos: doméstico, servicios, agrícola, pecuario, recreativo, Industrial, energía, minería e hidrocarburos, pesca, maricultura y acuicultura, navegación, transporte y caudal de retorno.

La demanda de agua en general, representa el volumen de agua expresado en millones de metros cúbicos, utilizado para las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado, de manera que corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales.

DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP

Dónde:

DT = Demanda Total de agua.

DUD = Demanda de Agua para Uso Doméstico.

DUI = Demanda de Agua para Uso Industrial.

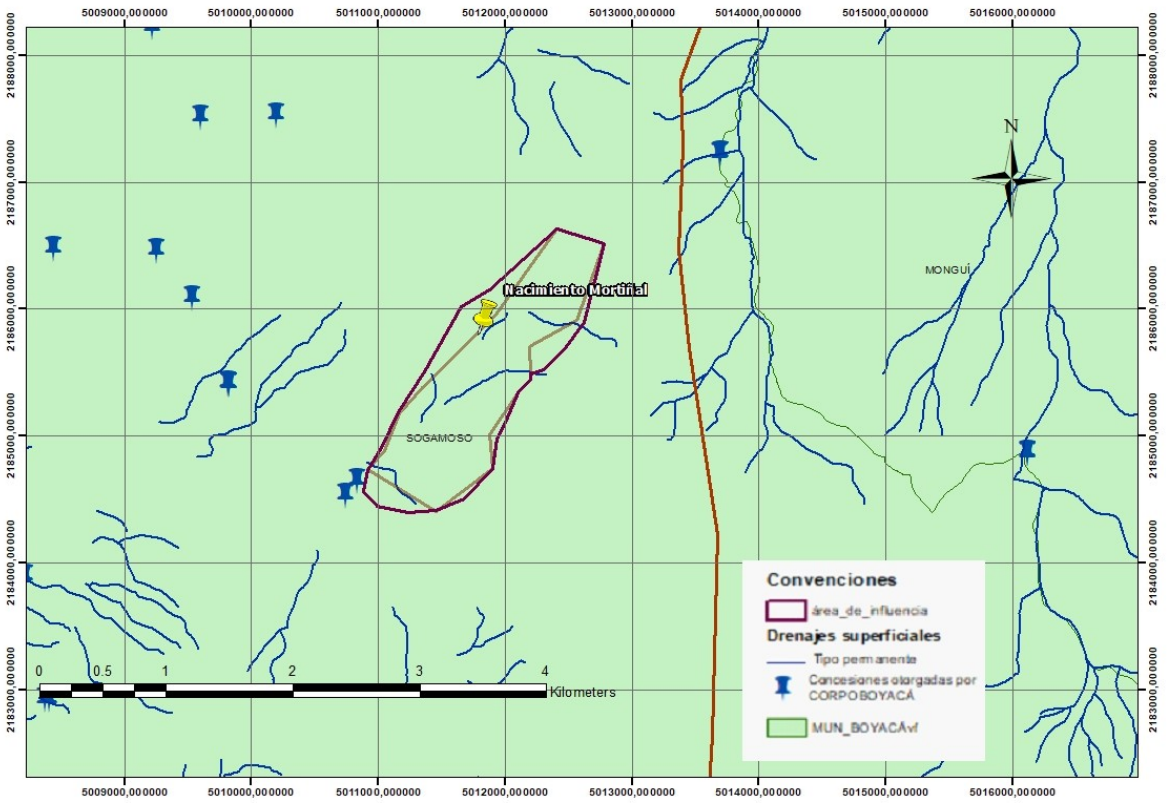
DUS = Demanda de Agua para el Sector Servicios.

DUA = Demanda de Agua para Uso Agrícola.

DUP = Demanda de Agua para Uso Pecuario.

No obstante, es pertinente señalar que, tras la revisión de la información disponible sobre las concesiones de agua superficial otorgadas por CORPOBOYACÁ en el área de influencia definida para el punto de captación, no se identificaron permisos otorgados, por lo que la demanda se calculará respecto a los datos consignados a nivel de la cuenca en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Media y Alta del Rio Chicamocha.

Ilustración 43. Concesiones otorgadas por CORPOBOYACÁ



Fuente. Presente estudio. Reporte de Concesiones Corporación Autónoma Regional de Boyacá

Por lo anterior, se identifican y cuantifican los principales usos del recurso hídrico superficial, permitiendo estimar la demanda total de agua (DT) a partir de la suma de las demandas por sectores específicos: doméstico (DUD), industrial (DUI), servicios (DUS), agrícola (DUA) y pecuario (DUP). La demanda de agua para uso doméstico (DUD) en la cuenca se estima en aproximadamente 0,72 m³/s, derivada del abastecimiento a centros poblados y urbanos, considerando una cobertura amplia de acueductos municipales y veredales, así como del crecimiento poblacional proyectado. Esta demanda es especialmente sensible a la variabilidad climática y a la presión generada por la expansión urbana.

En cuanto al uso industrial (DUI), la demanda calculada es del orden de 0,67 m³/s, concentrada principalmente en los municipios de Duitama, Nobsa y Sogamoso, donde se desarrollan actividades como la siderurgia, cementeras, agroindustria y pequeñas manufacturas. Este sector representa una carga significativa sobre el recurso hídrico, debido a sus requerimientos constantes y, en algunos casos, a sus descargas posteriores.

La demanda de agua del sector servicios (DUS) no se encuentra cuantificada de forma específica en el documento del POMCA, pero se reconoce como una categoría relevante en el uso urbano, particularmente en hoteles, centros educativos, administrativos y comerciales, los cuales generalmente se integran en la demanda doméstica ampliada. Sin embargo, se sugiere su

consideración independiente en análisis locales, dado su potencial impacto en temporadas de alta demanda turística o concentración institucional.

En lo referente al uso agrícola (DUA), se registra una demanda de 0.9 m³/s. Esta presión se asocia a la actividad agropecuaria intensiva en los valles interandinos y terrazas fluviales, donde se cultivan principalmente papa, cebolla, maíz y forrajes.

Finalmente, la demanda para uso pecuario (DUP) tampoco se presenta con una cifra explícita desagregada en el POMCA, pero se reconoce como una presión constante en municipios rurales con importante actividad ganadera. En conjunto, la demanda total (DT) del recurso hídrico en el tramo correspondiente al área de influencia a nivel del municipio de Sogamoso se aproxima a 2.29 m³/s.

9. BALANCE HÍDRICO AMBIENTAL

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en el principio de conservación de masas, también conocido como la ecuación de continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salida estará condicionada por la variación del volumen de almacenamiento (UNESCO, 1981).

En este estudio la ecuación del Balance hídrico, tanto para la cuenca como para cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. Por lo tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representada por la siguiente ecuación

$$E - \Delta S = \Delta A$$

Donde:

E: Entradas de agua en unidades de flujo

S: Salidas en unidades de flujo

A: Almacenamiento en unidades de flujo

En el caso del Balance para la cuenca se toma como dato de entrada los volúmenes de caudal y que resumen los flujos de lluvia, precipitación, evapotranspiración y las salidas de los consumos existentes de cada una de las demandas de este estudio.

A continuación, se presenta la relación de la oferta neta menos la demanda, teniendo en cuenta la cantidad de agua en época seca y en época de lluvia, si hay déficit o excesos. A continuación, se presenta la relación para cada uno de los meses del año.

Tabla 23. Oferta Hídrica Neta disponible río Chicamocha cuenca Alta

CAUDAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Oferta Caudal Medio (m3/s)	3,33	2,89	4,42	11,50	16,54	12,66	9,65	8,55	8,00	13,22	17,22	8,29	9,69
Caudal Ecológico (m3/s)	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Oferta Hídrica neta disponible (m3/s)	-	-	0,21	7,29	12,33	8,45	5,44	4,34	3,79	9,01	13,01	4,08	5,48

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Tabla 24. Balance hídrico Hídrica total río Chicamocha cuenca alta

CAUDAL (m3/s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Oferta Caudal Medio	3.33	2.89	4.42	11.5	16.54	12.66	9.65	8.55	8	13.22	17.22	8.29
Caudal Ecológico	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
Oferta Hídrica Neta disponible	-	-	0.21	7.29	12.33	8.45	5.44	4.34	3.79	9.01	13.01	4.08
Demanda Actual	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Balance hídrico	-1.41	-0.97	-2	5	10.04	6.16	3.15	2.05	1.5	6.72	10.72	1.79
	Déficit			Exceso								

Fuente. Presente estudio a partir de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

A partir del resultado anterior, se puede concluir que la cuenca alta del río Chicamocha no cuenta con una oferta hídrica suficiente para satisfacer las demandas de los usuarios durante los primeros meses del año, principalmente debido al bajo nivel de sus aguas.

En el resto del año, se observa un excedente hídrico, lo cual sugiere que durante estos periodos no se presentan conflictos significativos por el uso del recurso en esta corriente. No obstante, se recomienda implementar acciones de conservación, como la reforestación de las rondas hídricas y las zonas de recarga, considerando los resultados obtenidos sobre la baja capacidad de regulación hídrica de esta corriente.

10. CONCLUSIONES

El diagnóstico ambiental permitió identificar que el área de influencia del acueducto El Mortiñal se encuentra localizada en una zona de transición ecológica con alto valor estratégico para la conservación de recursos hídricos y biodiversidad. La presencia de coberturas naturales como bosque denso alto andino, zonas de vegetación secundaria y cuerpos de agua, así como coberturas intervenidas asociadas a actividades agropecuarias, reflejan un mosaico de uso del suelo que debe ser gestionado de manera integral.

En términos geológicos, la presencia de formaciones como Guaduas y Areniscas tiernas, junto con depósitos superficiales de arcillas limo-arcillosas y limo arcillosas, condiciona las dinámicas

hidrológicas locales, en especial la capacidad de infiltración y retención de agua. Estas características son determinantes para la regulación hídrica natural y la disponibilidad del recurso en el punto de captación.

Desde el componente hidrológico, se evidenció que el nacimiento El Mortiñal responde a un régimen hidrológico bimodal típico de la región Andina, con períodos críticos de baja oferta hídrica durante los primeros meses del año. Este comportamiento, sumado al bajo índice de regulación hídrica observado, indica la necesidad de implementar medidas de conservación en las rondas y zonas de recarga del nacimiento, como reforestación con especies nativas y manejo adecuado del uso del suelo.

En cuanto al análisis del uso del suelo y la cobertura vegetal, se identificaron coberturas que cumplen funciones clave de protección hídrica, así como coberturas productivas que requieren prácticas sostenibles. En particular, los sistemas agrosilvopastoriles (AGS) y los sistemas forestales protectores tienen un rol relevante en la provisión de servicios ecosistémicos y deben ser fortalecidos mediante acciones de manejo que reduzcan la presión sobre la fuente hídrica.

Por otra parte, el análisis de la demanda hídrica a nivel regional indica una presión creciente sobre el recurso, especialmente en los sectores agrícola, pecuario e industrial. Aunque la captación para el acueducto El Mortiñal tiene una finalidad comunitaria y un bajo impacto comparativo, su sostenibilidad dependerá de la protección del caudal ambiental y del equilibrio entre oferta y demanda local.

Finalmente, se concluye que el acueducto veredal El Mortiñal se localiza en un entorno ambientalmente frágil, pero con alto potencial de restauración y sostenibilidad. La implementación de estrategias integrales de conservación, junto con una gestión comunitaria responsable del recurso hídrico, son claves para garantizar el abastecimiento a mediano y largo plazo, sin comprometer la integridad del ecosistema de cabecera.

11. BIBLIOGRAFÍA

IDEAM. (2010, 2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-.

IDEAM. (2013). Codificación de cuencas hidrológicas. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

SIAC. (2017). Sistema de Información Ambiental para Colombia. Bogotá: Agencia Nacional de Licencias Ambientales -ANLA-.

UNESCO. (1981). Methods for water Balance in Hydrology. París. Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

CORPOBOYACÁ (2017). Documento técnico actualización del plan de manejo ambiental del parque natural regional unidad biogeográfica siscunsí ocetá