

2 Caracterización física

En este capítulo se abordan las características climáticas, geológicas, hidrogeológicas, hidrográficas, hidrológicas, edáficas y las coberturas del área declarada como DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual.

2.1 Clima

2.1.1 Metodología.

2.1.1.1 Recopilación de información.

Para el análisis climático se tuvieron en cuenta los registros temporales de las estaciones del IDEAM más cercanas a los páramos de Mamapacha y Bijagual. Asimismo, se tomaron los registros de tres estaciones climatológicas principales (CP), seis ordinarias (CO), una estación agrometeorológica (AM), nueve pluviógrafos (PG) y dieciocho pluviómetros (PM) (*Figura 2.1-1*).

Se solicitó al IDEAM toda la serie histórica de las siguientes variables: precipitación total mensual, temperatura media mensual, temperatura mínima mensual, temperatura máxima mensual, valores medios mensuales de humedad relativa, valores totales mensuales de evaporación y valores totales mensuales de brillo solar. Se determinó para cada variable el porcentaje de información faltante por año para así determinar el periodo de estudio. Con base en ese porcentaje se determinó que el periodo comprendido entre los años 1992 a 2012 es el que menos información faltante posee para las variables precipitación total mensual, temperatura media mensual, valores medios mensuales de humedad relativa y valores totales mensuales de evaporación. En contraste, variables como el brillo solar, temperatura máxima y temperatura mínima son variables que no cuentan con una serie continua de datos históricos necesarios para realizar el análisis dentro del área de estudio. Por otro lado también se encontró que solamente seis estaciones registran esas variables.

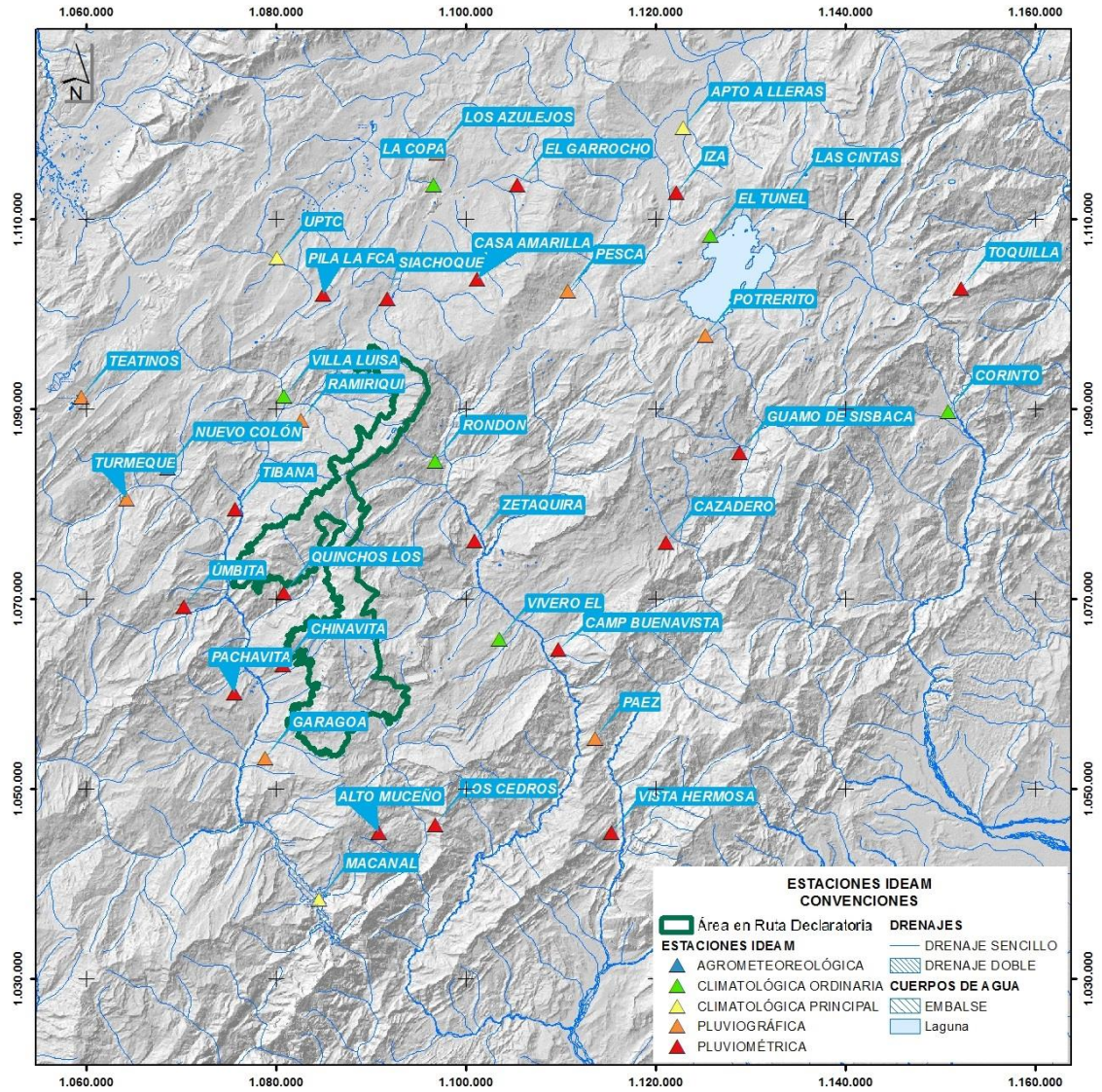


Figura 2.1-1. Estaciones IDEAM para el análisis de variables meteorológicas
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base Datos IDEAM 2015.

2.1.1.2 Complementación de la información.

Debido a que cada estación presentó datos faltantes en su histórico en el periodo seleccionado, se resolvió completar dicha información teniendo en cuenta las siguientes metodologías por parámetros analizados.

2.1.1.2.1 Precipitación.

Método de la regresión normalizada:

Si la precipitación media anual (o mensual) de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más de un 10% de la medida en la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el método de la regresión normalizada (Agustín & Weimar, 2009). El dato faltante anual o mensual P_x será igual a:

$$P_x = \frac{1}{n} \left\{ \frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_n} P_n \right\}$$

P_x = Dato faltante de precipitación que desea obtener (mm)

N_a , N_b y N_n = Precipitación normal anual de las estaciones índices (mm). Cuando el método es aplicado para estimar datos mensuales, los valores de N_a , N_b y

N_n corresponden al mes que se estima.

P_a , P_b y P_n = Precipitación en las estaciones índices durante el mismo periodo de tiempo del dato faltante (mensual).

N_x = Precipitación normal anual de la estación en estudio

2.1.1.2.2 Temperatura, evaporación y humedad relativa.

Para la estimación de datos mensuales faltantes de las variables meteorológicas se utilizó una regresión lineal simple (WMO, 2011) entre la estación incompleta y otra cercana para estimar los valores faltantes teniendo en cuenta condiciones topográficas y espaciales similares. Se obtuvo la regresión y la correlación (coeficiente de determinación) para posteriormente evaluar la bondad del ajuste lineal.

2.1.1.2.3 Análisis de la información climática.

Para el análisis espacio-temporal se efectuó la espacialización de las variables precipitación media anual, temperatura media anual, evaporación media anual y humedad relativa media anual usando el método de interpolación del software GvSIG V2.2. Con base en los resultados obtenidos se analizan cada una de las variables climáticas dentro del páramo Mamapacha-Bijagual haciendo énfasis en la variación espacial.

2.1.2 Resultados.

2.1.2.1 Precipitación.

La precipitación media anual varía dentro del Macizo Mamapacha-Bijagual en un rango entre 837 y 3121 mm/año, correspondiendo el primer valor a la vereda Chen del municipio de Viracachá y el segundo valor a la vereda Ciénega Valvanera del municipio de Garagoa. La precipitación es mayor en la parte sur de la reserva temporal con respecto al sector norte, presentándose valores altos de pluviosidad en los municipios de Chinavita y Garagoa, y bajos en los municipios de Ciénega y Viracachá. La precipitación media anual en el municipio de Ramiriquí, veredas La Guacamaya, Farquenta, Escobal, Ortigal, Chuscal y Guayabal, varía entre los 1260 y los 1720 mm/año (*Figura 2.1-1*).

Rangel (2000), con base en datos de estaciones meteorológicas, propuso una clasificación de páramos según la precipitación media anual (Hofstede et al., 2003) como se muestra a continuación:

Páramos secos: entre 623.5 y 1196.5 mm/año

Páramos semihúmedos: entre 1196.5 y 1770 mm/año

Páramos húmedos: entre 1170 y 2344 mm/año

Páramos muy húmedos: entre 2344 y 2918 mm/año

Páramos superhúmedos: entre 2918 y 3492 mm/año

Páramos superhúmedos-pluviales: entre 3492 y 4066 mm/año

Páramos pluviales: mayor a 4066 mm/año.

Con base en la clasificación propuesta por Rangel (2000) e IDEAM, el clima del área declarada, en la región norte es seco y en el sur húmedo, lo anterior se corrobora con el análisis de las isoyetas (Mapa 2).

2.1.2.2 Isoyetas.

De acuerdo a la *Figura 2.1-3* *Figura 2.1-2* el área de mayor precipitación corresponde a la zona sureste, la cual geográficamente define zonas de alta montaña como lo es el Cerro de Mamapacha, el cual corresponde a rocas permeables (ver sección 2.5.2.1.1 Unidades Acuíferas).

Además se puede identificar que las isoyetas de menor valor están sobre la zona Noroeste, definiendo zonas de descarga, asociado también a que esta área topográficamente presenta relieves más suaves.

Cabe resaltar que las isoyetas de menos valor no representan precipitaciones mínimas a nivel general, pero en comparación con las de la zona sur sus

rangos difieren, es decir la precipitación aumenta constantemente en sentido Noroeste – Sureste.

Evidentemente los puntos de inflexión en la *Figura 2.1-4*, representan valores de precipitación más bajos puesto que corresponde al análisis en año seco. Sin embargo su comportamiento es similar al del año húmedo.

Al revisar la distribución espacial de las captaciones realizadas en la zona, actualmente el abastecimiento del recurso hídrico se realiza de norte a sur en sentido occidental, ratificando que las zonas de alta montaña están favoreciendo la recarga hídrica y drenando hacia las partes más bajas o de topografía suave.

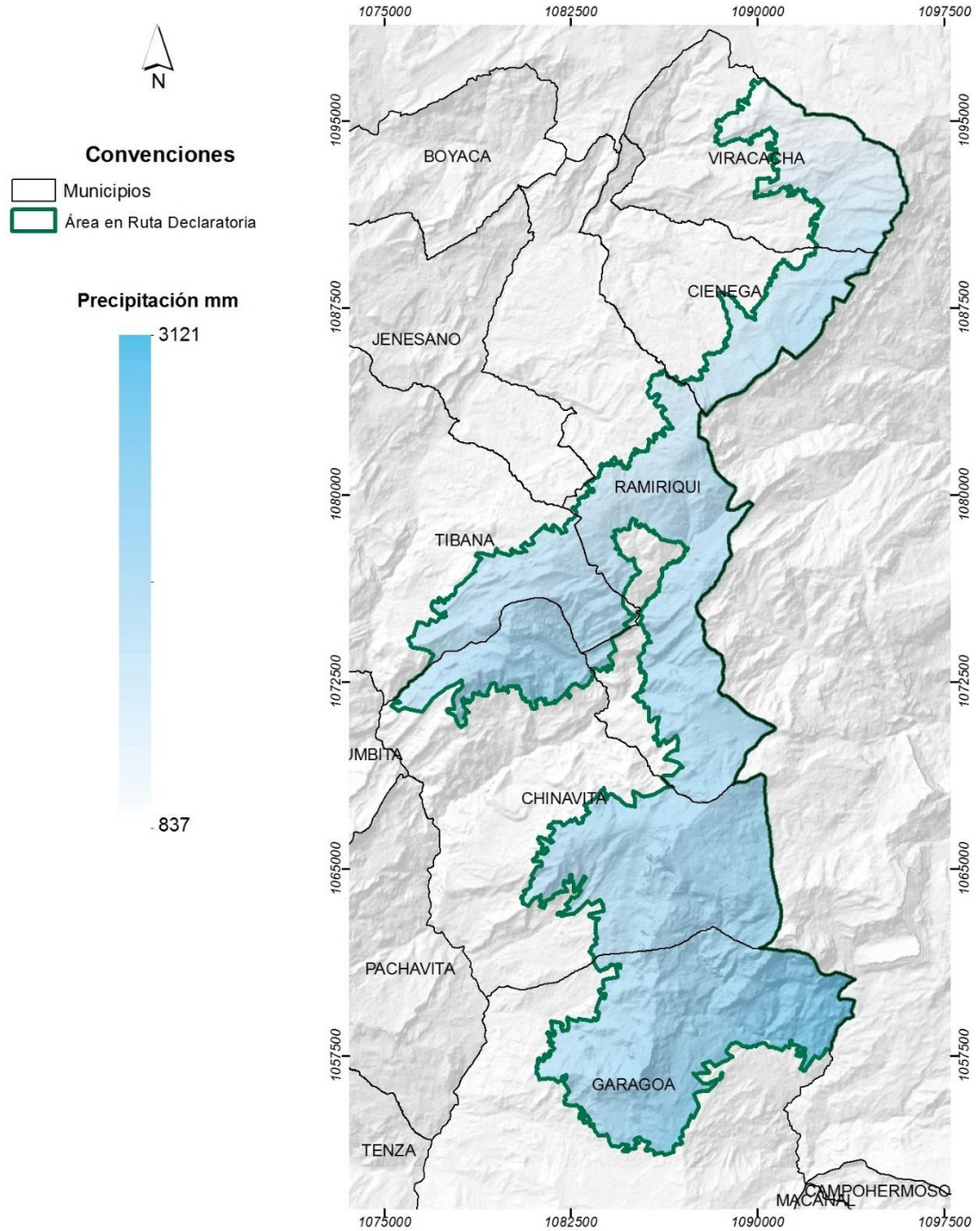


Figura 2.1-2. Precipitación media anual en el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual.

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información del IDEAM 2015

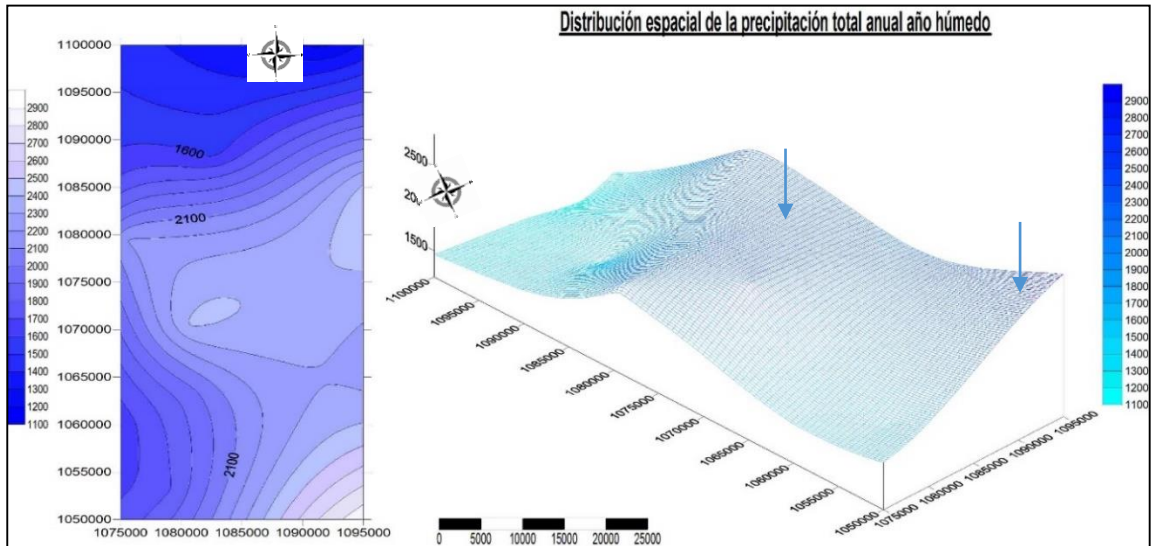


Figura 2.1-3. Modelo del comportamiento, precipitación total anual año húmedo
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

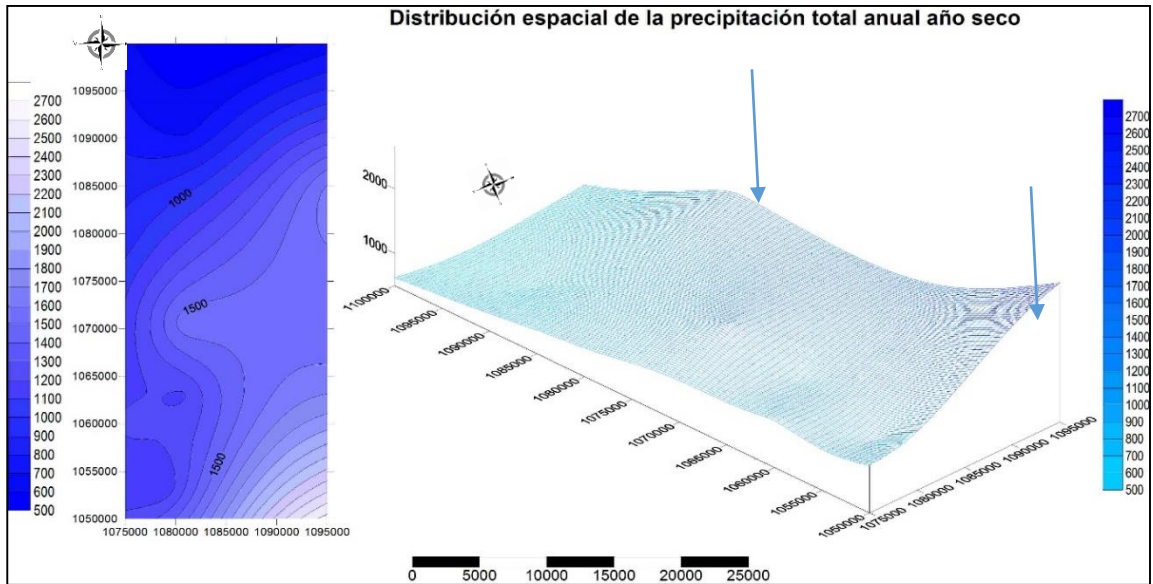


Figura 2.1-4. Modelo del comportamiento, precipitación total anual año seco
Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Adicionalmente, teniendo en cuenta también la precipitación media, el IDEAM realizó una clasificación bioclimática para los diferentes distritos de páramo de acuerdo a su ubicación dentro de los ramales de las cordilleras del país (Hofstede et al., 2003) y de la cual solo se hará referencia a los distritos de páramo ubicados sobre la cordillera oriental (Tabla 2.1-1)

Tabla 2.1-1. *Clasificación de los distritos de páramo en Colombia según la precipitación media anual*

| Distrito de páramo | Ubicación | Clasificación bioclimática simplificada | Tendencia indicativa de precipitación media anual (mm/año) |
|---------------------------|---------------------|--|---|
| La Serranía de Perijá | Cordillera Oriental | Secos a semihúmedos | 1771-2918 |
| Serranía de los Cobardes | Cordillera Oriental | Húmedo, Superhúmedo a Superhúmedo pluvial | 171-4066 |
| Santander | Cordillera Oriental | Seco a semihúmedo | 624-1770 |
| Páramos de Boyacá | Cordillera Oriental | Seco a semihúmedo | 624-1770 |
| Páramos de Cundinamarca | Cordillera Oriental | Seco a semihúmedo | 624-1770 |
| Páramos de Quindío | Cordillera Oriental | Seco a semihúmedo | 624-1770 |

Fuente: Adaptado de (Hofstede et al., 2003)

2.1.2.3 Temperatura

Los valores de temperatura media anual varían espacialmente en un rango de 2°C aproximadamente en toda el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual, siendo la zona norte más fría (municipios de Ciénega y Viracachá) presentando valores entre 15.2°C y 15.7°C y la zona sur más cálida (municipios de Chinavita y Garagoa) con valores entre 16.1°C y 17.2°C. La zona del área declarada que se encuentra dentro de los municipios de Ramiriquí y Tibaná, presentan valores de temperatura entre 15.6 y 16.6°C (*Figura 2.1-5; Mapa 3*).

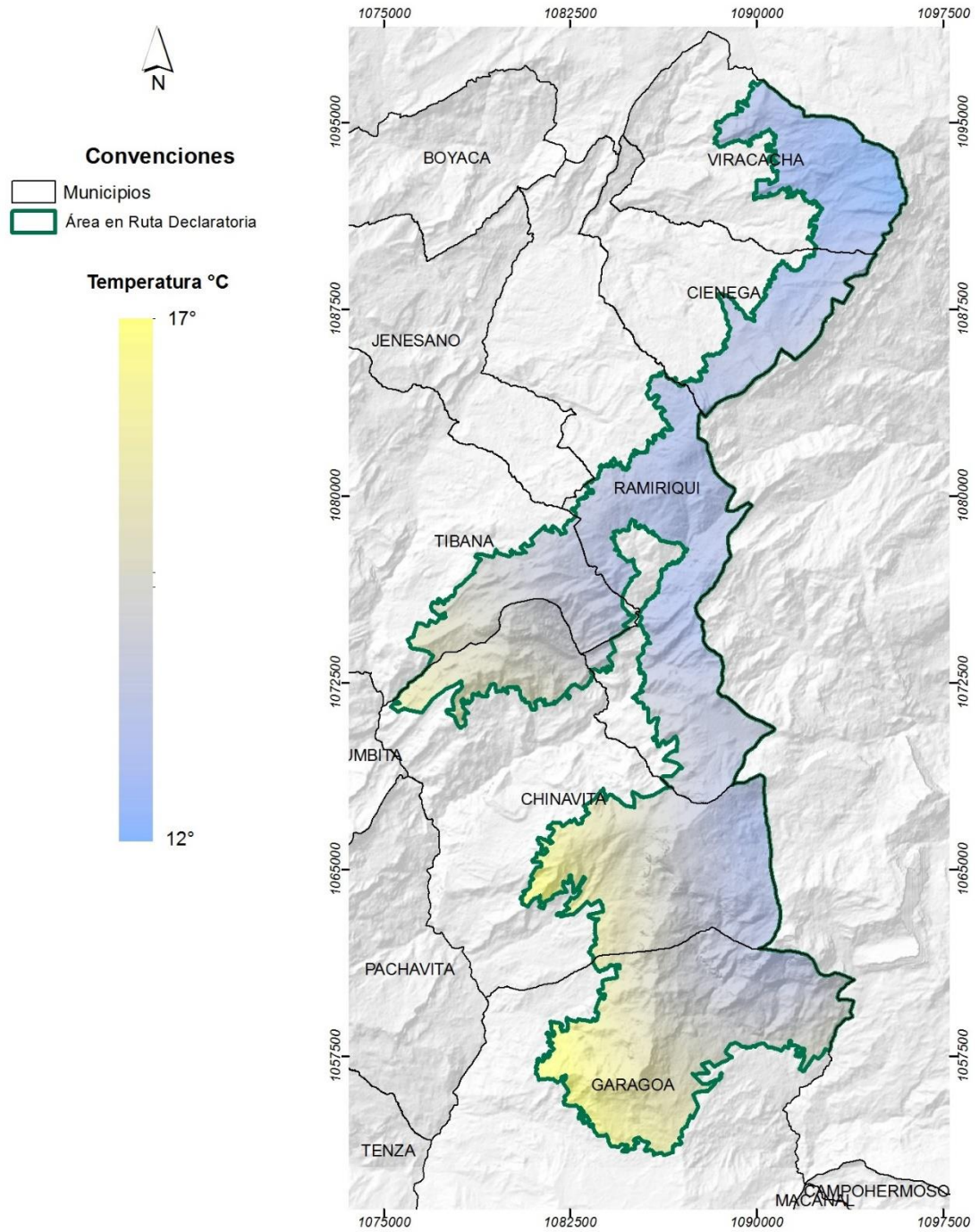


Figura 2.1-5. Temperatura media anual en el DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual.
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 información base IDEAM 2015

Las zonas más cálidas corresponden a las regiones bajas del área protegida, es decir en los límites inferiores establecidos en los municipios de Garagoa, Chinavita y Tibaná.

2.1.2.4 Humedad Relativa.

Los valores de humedad relativa media anual varían espacialmente en un rango de 4 a 5% aproximadamente en toda el área protegida, presentándose los valores más bajos en la zona norte (82.5 % y 85.1%) en dónde se ubican los municipios de Ciénega, Ramiriquí, Tibaná y Viracachá. La zona sur presenta valores más altos de humedad relativa (85.1 y 86.2%) correspondiente a las zonas ubicadas dentro de los municipios de Chinavita y Garagoa (*Figura 2.1-6*).

Cabe anotar que a pesar de que las variaciones en la humedad relativa del área no son tan altas (1.3%), las zonas más húmedas concuerdan con las que más precipitación tienen (*Figura 2.1-6; Mapa 4*).

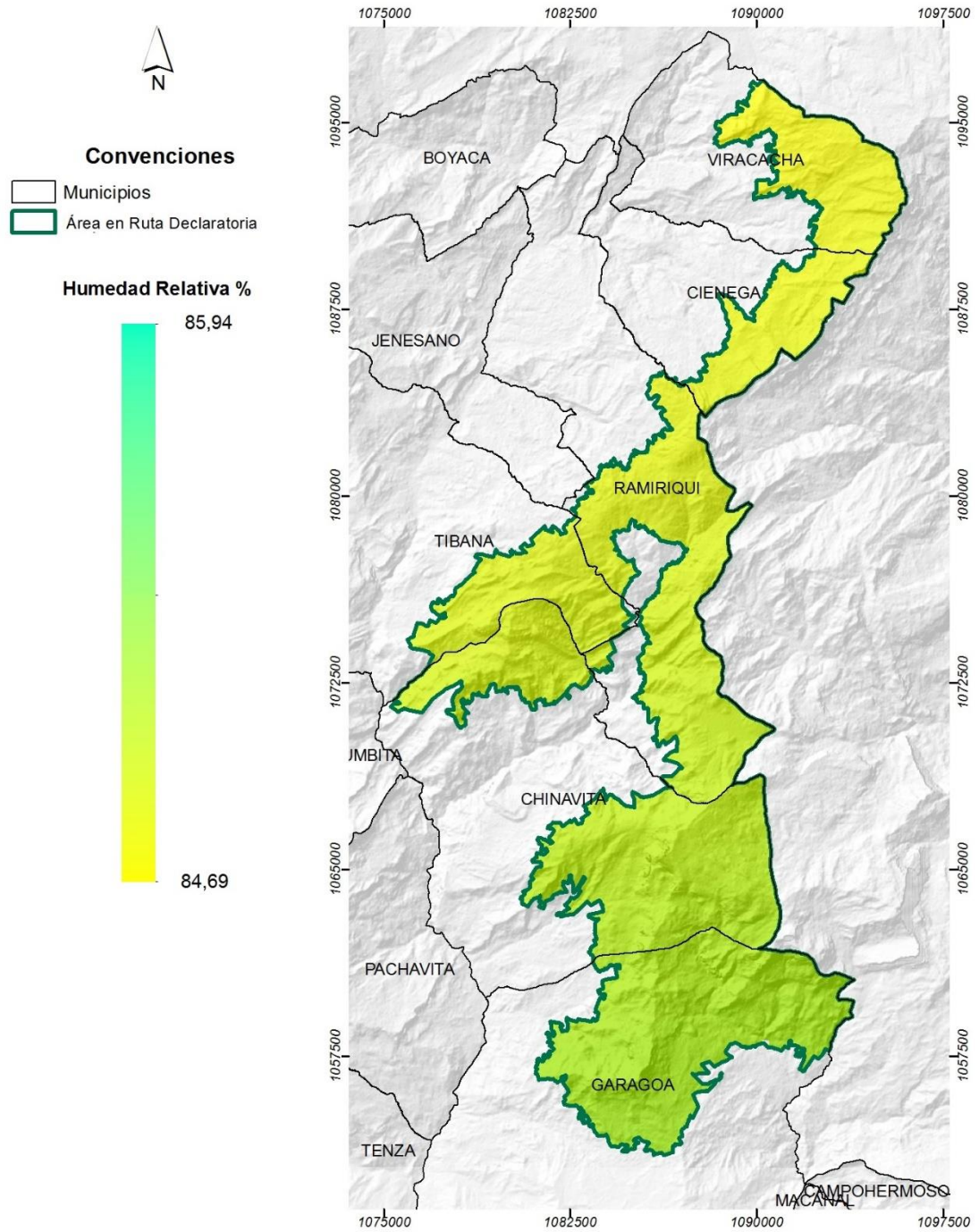


Figura 2.1-6. Humedad relativa en el área en DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual.
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información del IDEAM 2015

2.1.2.5 Evaporación.

Las zonas que mayor evaporación media anual registraron dentro del área declarada fueron la vereda Chen y Pueblo Viejo del municipio de Viracachá con valores que oscilan entre 1066.29 y 1080.05 mm/año y las veredas Quigua Arriba, Guanica Arriba y Guanica Molino del municipio de Garagoa con valores que varían entre los 1051.28 y 1054.04 mm/año. Las veredas San Vicente, Albañil y El Plan, del municipio de Ciénega, presentaron los valores más bajos de evaporación (948.11 y 957.76 mm/año). En general, se registraron valores que oscilan entre los 1016.52 y 1033.52 mm/año (*Figura 2.1-7 ;Mapa 5*).

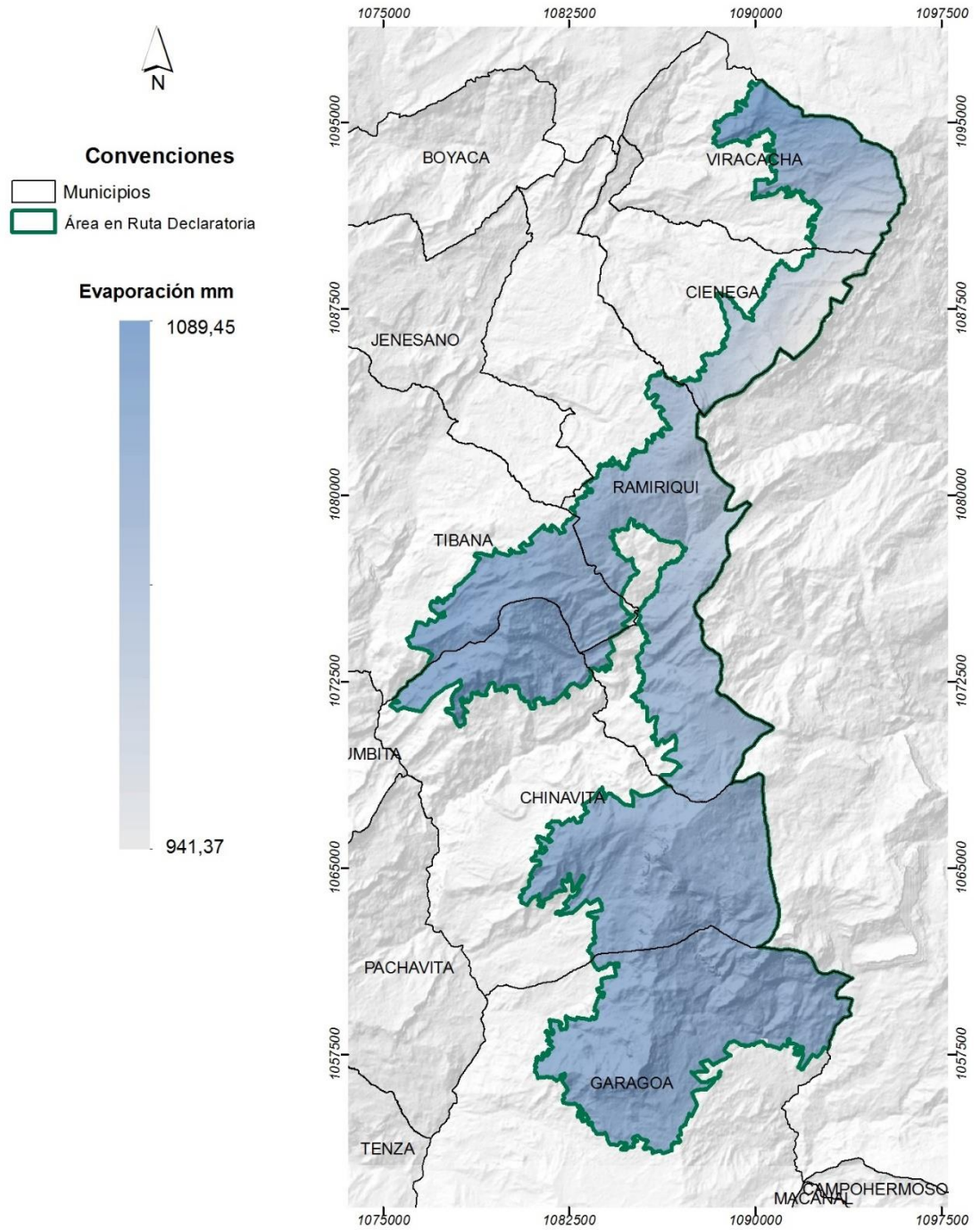


Figura 2.1-7. Evaporación en el área en DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual.
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información del IDEAM 2015

2.2 Geología

2.2.1 Metodología.

Para el análisis geológico se analizó la información cartográfica existente suministrada por el Sistema de información Ambiental Territorial de CORPOCHIVOR (SIAT), adicionalmente se utilizó la Plancha 210 de INGEOMINAS (Terraza et. Al. 2010) y se realizó comprobación en campo (Mapa 6).

2.2.2 Resultados.

2.2.2.1 Unidades litoestratigráficas.

La sucesión litoestratigráfica del macizo Mamapacha – Bijagual se encuentra representada por unidades del cretáceo, paleógeno y neógeno, caracterizando aproximadamente doce formaciones las cuales consisten principalmente en rocas sedimentarias (Tabla 2.2-1).

El fallamiento geológico más prominente está localizado hacia el norte y zona centro del área en el DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual., estas se extienden por decenas de kilómetros y corresponden a fallas inversas.

Los principales recursos minerales corresponden a materiales de construcción específicamente para agregados pétreos, recibos para base y sub-base de vías, y areniscas cuarzosas (principalmente Formación Une) para la industria del vidrio.

Tabla 2.2-1. *Secuencia estratigráfica*

| Periodo | Edad | Grupo | Formación |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|
| Unidades del cretáceo | Berremiano | Grupo Villeta (K1K2v) | Formación Fόμεque (K1f) |
| | b4 | | Formación Une (K1K2u) |
| | Santoniano | | Formación Chipaque (K2cp) |
| | K4 | | Formación Conejo (K2c) |
| | | | Formación Guadalupe (K2g) |
| | | | Formación Guaduas (K2E1g) |
| Unidades del paleógeno | Época | | |
| | Paleoceno | | Formación Socha Inferior (E1si) |
| | E1 | | Formación Socha Superior (E1ss) |
| | Eoceno E2 | | Formación Picacho (E2p) |

| Periodo | Edad | Grupo | Formación |
|----------------------------|-----------------|-------|----------------------------------|
| | Oligoceno E3 | | Formación Concentración (E2E3co) |
| Unidades del neógeno | | | Cuaternario Coluvial (Qc) |
| | | | Cuaternario Fluvioglacial (Qfl) |

Fuente. Modificado Informe Plancha 210 (2010)

2.2.2.1.1 Unidades del cretácico.

Para este periodo geológico se identificaron 6 formaciones en el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual. que se describen a continuación, relacionándolas de la más antigua a la más joven.

2.2.2.1.1.1 Formación Fόμεque (K1f)

El Conjunto de Fόμεque, según Hubach (1931), corresponde a la parte inferior del Piso de Villeta y se compone de esquistos piritosos, caliza cristalina, arenisca y por areniscas cuarcíticas que se hallan principalmente hacia la parte baja. Según Terraza *et al* (2010), la edad de la Formación Fόμεque abarcaría el lapso Barremiano- Aptiano tardío con posibilidad de incluir el Albiano temprano. La unidad genera una topografía relativamente suave que contrasta morfológicamente con las zonas escarpadas de la infrayacente Formación Las Juntas y la suprayacente Formación Une.

La mayor exposición de formación Fόμεque en el área de estudio se encuentra hacia el suroeste del área de estudio en el municipio de Chinavita. Esta se compone principalmente de arcillolitas de capas delgadas y planas, color gris oscuro a negro. Además, presentan niveles importantes de cuarzoarenitas blancas con contenido en mica moscovita. En el área de estudio la capa de arcillolitas se encuentra muy fracturada, algunas veces se observan niveles de nódulos silíceos frecuentemente huecos por meteorización.

El afloramiento en la Bocatoma Sicha del municipio de Chinavita permitió identificar cantos y bloques de hasta un metro de diámetro, angulares a subangulares que consisten en cuarzoarenitas de color gris muy claro.

2.2.2.1.1.2 Formación Une (K1K2u)

Nombre propuesto por Hubach (1931) refiriéndose al conjunto medio del Piso de Villeta, el cual denominó Areniscas de Une en la región oriental de Bogotá y que está formado por una capa de areniscas de aproximadamente 400 - 500 m de espesor. De acuerdo a Terraza *et al*, 2010 la posición estratigráfica de esta formación indica una edad que va del Albiano medio al Cenomaniano. Y

presenta un contacto concordante transicional en el límite inferior con la Formación Fómeque (K1f). Se infiere un ambiente costero marino teniendo en cuenta el cambio de facies en la base de la formación, Italo (1984). Es característico observar que un 70% de los afloramientos se encuentran húmedos y cubiertos principalmente por una capa de vegetación de páramo muy densa. La expresión Morfológica de la Formación Une corresponde a zonas escarpadas y cuchillas prominentes que resaltan la topografía del área declarada.

En el macizo Mamapacha – Bijagual se encuentran afloramientos representativos de dicha formación, los cuales están expuestos por la vía que de Quigua conduce a la vereda Ciénega-Valvanera en el municipio de Garagoa. En estos afloramientos se identifican cuarzoarenitas, color gris claro, la roca meteorizada se observa amarilla oscura casi rojiza, algunas veces se presenta estratificación plano paralela continua, y el nivel de consolidación de la roca es moderado. Igualmente, se reconoce textura muy fina y fina, con cemento silíceo, algo micáceas en capas muy gruesas de arenitas de cuarzo. Por otro lado las cuarzoarenitas se intercalan con arcillolitas de color gris oscuro a negro, laminadas y a veces macizas.

2.2.2.1.1.3 Formación Chipaque (K2cp)

Renzoni (1962) asigna como Formación Chipaque al intervalo estratigráfico que descansa sobre la Formación Une e infrayace a la Formación Arenisca Dura y consiste en arcillolitas y lodolitas de color gris oscuro. Su posición estratigráfica define un contacto, concordante neto para el límite superior de la Formación Arenisca Dura y límite inferior de la Formación Une. Montoya & Reyes (2003) le asignan edad Cenomaniano – Santoniano. Se le atribuye un ambiente marino, teniendo en cuenta sus características litológicas.

Una sección representativa de esta formación se encuentra en la Vereda Cupavita del Municipio de Chinavita. Allí se logró identificar arcillolitas grises oscuras, laminadas y meteorizadas lo que le da una coloración amarilla. Presenta esporádicas intercalaciones de arenitas muy finas. Se encontró además una capa gruesa de carbón intercalada con las arcillolitas y capas medianas de cuarzoarenitas. El manto de carbón presenta una geometría plana paralela discontinua con un espesor de 0,60 m para la capa más gruesa.

Otra exposición de esta formación corresponde a un afloramiento ubicado en la vereda Parras del municipio de Viracachá. Allí la expresión topográfica y morfológica se caracteriza por formas recesivas y escarpadas del terreno las cuales se prolongan horizontalmente hacia zonas de protección.

Consiste en arcillolitas y lodolitas grises oscuras, lajosas y moderadamente duras en capas gruesas, planas, paralelas y continuas; se observa además que

el contacto entre las capas es arenoso y se encuentran intercalados con material muy duro, compacto, síliceo y con bioturbación, calizas.

Estas últimas se observan altamente erosionadas y fracturadas en inmediaciones de la cantera Loma Gorda en Viracachá, con un espesor de 35 m. Su característica principal es que se reconoce replegamiento dentro del estrato, (laminación convoluta) en la base del afloramiento.

Cabe destacar que en el área aledaña a la cantera se identificaron puntos de agua importantes como manantiales, así como una vegetación asociada a páramos con predominancia de arbustos.

2.2.2.1.1.4 Formación Conejo (K2c)

Renzoni (1981), designó como Formación Conejo al intervalo estratigráfico comprendido entre el techo de la Formación San Rafael la base de la Formación Plaeners, constituido por *shales* de color gris oscuro a amarillento con algunas intercalaciones muy gruesas de arenisca. Etayo (1968) le asigna una edad que abarca desde parte del Turoniano tardío hasta parte del Santoniano. Morfológicamente corresponde a geofomas suaves que contrastan con los escarpes suprayacentes de la Formación Arenisca dura.

La mayor exposición de esta formación se identificó en las veredas Baganique alto, Escobal, Farquenta, Guacamayas y parte alta de Cebadal en el municipio de Ramiriquí. Consiste en areniscas cuarcíticas de color gris claro moderadamente duras, compactas y altamente meteorizadas de color marrón oscuro, generalmente se encuentra muy fracturada. Se intercalan con limolitas grises y algunas veces se observan intervalos areno arcillosos de color blanco grisáceo en capas planas paralelas continuas.

En algunas secciones se identifican niveles arcillosos de color gris claro y amarillo intercalados con arenitas de grano fino bien seleccionadas de color blanco en capas medianas. Se estima un espesor aproximado para la unidad de 270 m.

La mayor parte de las secciones se encuentran húmedas y la fracción de suelo no es mayor a los 60 cm. En el sector conocido como la Cueva del Diablo en el municipio de Ramiriquí se observa un aporte importante de precipitación teniendo en cuenta esto y de acuerdo a la morfología del área y los niveles arenosos, se clasifica como una zona de recarga hídrica.

Etayo (1968) le asigna una edad que abarca desde parte del Turoniano tardío hasta parte del Santoniano.

2.2.2.1.1.5 Grupo Guadalupe (K2g)

Hubach (1931) divide el Piso de Guadalupe en un conjunto superior (arenoso) y un conjunto inferior (arcilloso), el primero dividido a su vez en Areniscas Duras, Plaeners y Areniscas Tiernas; Hubach (1957) asciende la unidad al rango de formación y posteriormente al rango de grupo, manteniendo el mismo concepto litoestratigráfico expresado anteriormente.

De esta manera el Grupo Guadalupe está conformado de base a techo por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna. De acuerdo a Terraza et al (2010) los límites inferior (con la Formación Chipaque) y superior (con la formación Guaduas) del Grupo Guadalupe se consideran concordantes y netos. El límite Arenisca Dura-Plaeners se considera transicional lento. El límite Plaeners- Arenisca de Labor y Tierna es neto. Y se infiere para el Grupo Guadalupe edad Campaniano - Maastrichtiano temprano.

Arenisca Dura (K2d):

Consiste en areniscas cuarcíticas altamente meteorizadas lo que les da una coloración naranja amarillenta casi rojiza. Sin embargo la roca fresca es de color gris claro a blanco. Se presenta bien consolidada, muy fracturada y diaclasada.

En la vereda Jordán del municipio de Chinavita se identifican arenitas de grano medio a grueso color amarillo claro, alternando con arcillolitas colores gris oscuro, friables y muy fracturados.

Para la zona de protección de Mamapacha – Bijagual litológicamente la Formación Arenisca dura se encuentra caracterizada por la intercalación de niveles arenosos y arcillolíticos, esto se pudo corroborar tanto en los afloramientos de Chinavita como en Tibaná y Ramiriquí.

Además se identificó una alternancia de porcelanitas grisáceas y parduzcas en conjunto de capas medianas, plano paralelas continuas y de partición prismática. De igual manera se observaron lodolitas de color gris oscuro algo cuarcíticas muy fracturadas. El espesor aproximado de esta formación es de 160 m.

Plaeners (K2p):

Consiste en arcillolitas en capas planas paralelas discontinuas altamente meteorizadas lo que le da un color marrón rojizo, moderadamente consolidadas y fracturadas, intercaladas con arcillas algo arenosas color gris claro, algunas veces se presenta de color amarillo - naranja.

En algunos afloramientos se identificó que la fracción de suelo aumentaba en proporción al limo y la arena. La unidad presenta un espesor de 150 m aproximadamente.

Presenta una topografía suave de colinas de baja pendiente. Con cobertura vegetal principalmente de páramo.

Arenisca Labor y Tierna (K2It)

Para el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual no se encontró ninguna sección tipo, sin embargo se cartografió un afloramiento en la vereda Cebadal del municipio de Ciénega. Esto con el fin de corroborar la secuencia litoestratigráfica de este grupo.

Consiste en arenitas cuarzosas, grano medio, bien sorteadas, color amarillo claro – naranja, bien consolidadas con estratificación gruesa y altamente meteorizada. Se infiere un espesor de 60 m aproximadamente.

2.2.2.1.1.6 Formación Guaduas (K2E1g)

Hubach (1931) la clasifica principalmente como una sucesión lutítica con intercalaciones de areniscas y capas de carbón. Constituida predominantemente por arcillolitas con algunas intercalaciones de cuarzoarenitas, la Formación Guaduas geomorfológicamente tiende a generar depresiones en el terreno.

Se identifica principalmente por mantos de carbón como el cartografiado en inmediaciones a la escuela Guayabal del municipio de Chinavita, allí se encuentra alternando con arcillolitas de color gris las cuales están altamente meteorizadas. Cabe resaltar que en este punto se observaron canales perimetrales de agua.

Mediante el reconocimiento en campo se observaron depósitos coluviales de bloques cantos y guijos oligomicticos de cuarzoarenitas principalmente, lo que indica que esta formación está cubierta por coluviones, definiendo características puntuales para su identificación.

Por la carretera Quinchatoque – Chiguata en el municipio de Chinavita se identificaron arenitas de color blanco, grano medio bien seleccionado en capas muy gruesas de hasta 30 m de espesor. Alternan además con niveles arcillosos de color gris claro altamente meteorizado y friable.

Sarmiento (1992) le asigna edad Maastrichtiano tardío-Paleoceno mediante palinología.

La expresión geomorfológica corresponde a colinas bajas y valles poco profundos.

El contacto inferior de la formación Guaduas con la formación Arenisca Tierna es neto y corcondante.

2.2.2.1.2 *Unidades del Paleógeno*

Para este periodo del tiempo geológico se definieron 4 formaciones relacionadas de la más antigua a la más joven.

2.2.2.1.2.1 Formación Socha inferior (E1c)

Alvarado & Sarmiento (1944) especifican para esta formación, areniscas de grano medio, color blanco. La parte inferior del conjunto es de grano grueso y presenta zonas de grano muy grueso, hasta guijoso. Las areniscas son compactas y tienen estratificación cruzada. Su color es blanco, pero en partes muestra tintes verdosos.

En la vereda Usillo hacia la zona de alta montaña se identifican principalmente arenitas de color naranja claro a marrón algo rojizo de grano medio a grueso, solo algunas veces es fino. En dirección suroeste, del punto de descripción se observa una explotación de carbón lo que indica el contacto de la formación Socha inferior (E1si) con la Formación Guaduas (k2E1g).

Ulloa & Rodríguez (1979) reportan un espesor para esta unidad de 180 m aproximadamente por la vía Tibaná.

Los límites inferior y superior de la Formación Socha Inferior con las formaciones Guaduas (infrayacente) y Socha Superior (suprayacente) son concordantes y netos.

2.2.2.1.2.2 Formación Socha superior (E1ss)

Según De Porta (1974), la “Formación Socha Superior es una unidad que queda comprendida entre dos conjuntos masivos de areniscas que corresponden a la Formación Socha Inferior y a la Formación Picacho.

La mayor exposición de esta formación se encuentra en la vereda Usillo del municipio de Chinavita, consiste en areniscas cuarcíticas de grano fino, altamente meteorizadas, friables en capas gruesas verticalizadas. Intercalado con un nivel arcilloso, compacto, en capas de dos metros de espesor aproximadamente, presenta una alternancia de arcillolitas laminadas, friables.

Cabe resaltar que en algunas secciones se identificó la arenisca cuarcíticas con estratificación cruzada y altamente meteorizada.

La zona presenta una topografía muy quebrada, razón que favorece los diversos deslizamientos así como los diferentes interfluvios que discurren por el área, factores que no presentan medidas de mitigación de los eventos de remoción en masa. Asociado a esto se observa un 60% de áreas desprovistas de vegetación, factor que ha favorecido la erosión.

La exposición de la Formación Socha Superior es muy puntual, pues sus afloramientos casi siempre se hallan cubiertos por coluviones, que consisten en

bloques subredondeados de cuarzoarenitas de color blanco, altamente meteorizadas y de color naranja rojizo.

Por el área discurre un considerable volumen de agua, factor que además ha favorecido la inestabilidad de la zona, que se ve representada por la frecuente pérdida de la carretera de acceso principal a la vereda.

Es importante mencionar que esta zona corresponde a un área de recarga hídrica tanto por la permeabilidad de las arenas como de la posición estratigráfica y topográfica de dicha formación. La capacidad de retención del agua está vinculado con la densa capa de vegetación tipo páramo, helechos y matorrales. Se identificaron además dos manantiales de flujo constante.

Guerrero y Sarmiento (1996) plantean la secuencia, que incluye parte del Paleoceno tardío (Thanetiano) y parte del Eoceno temprano (Ypresiano), conformada por las formaciones Socha Inferior y Socha Superior, asignando esta última al Eoceno temprano.

2.2.2.1.2.3 Picacho (E2p)

De acuerdo con De Porta (1974) la Formación Picacho está formada por un conjunto potente de areniscas que descansan concordantemente sobre la Formación Socha superior.

La mayor extensión de esta formación se encuentra sobre la vía Guayabal - Chuscal en el municipio de Ramiquí, allí se identificaron areniscas de grano medio a fino color amarillo claro y corresponde a rocas bien consolidadas.

Algunas secciones de esta unidad presentan una diferenciación en la textura observándose areniscas de grano grueso moderadamente a pobremente seleccionados.

Se pudo identificar además que un 60% del afloramiento se encuentra húmedo, esta característica es relevante ya que de igual forma en el recorrido entre la vía Guayabal – Ramiriquí se observaron nacimientos y puntos de agua que indican un importante aporte hídrico, asociado a los niveles arenosos y a la espesa vegetación de páramo, razón que ratifica a esta área como zona de protección.

La morfología de la zona corresponde a colinas con un sistema de drenaje bien definido y de pendiente suave.

En el municipio de Tibana en la Cuchilla San Antonio – Usillo se identificó un nivel arenoso de la Formación Picacho intercalado con lodolitas grises y arcillas algo arenosas moderadamente meteorizadas.

La unidad esta erosionada generando una estructura remanente. Al igual que los otros afloramientos mencionados este se encuentra húmedo.

Según Van Der Hammen (1958) la edad de la Formación Picacho es Eoceno temprano, datación realizada indirectamente.

Corresponde a un contacto concordante y neto tanto en el límite inferior con la Formación Socha Superior como el límite superior con la Formación Concentración.

2.2.2.1.2.4 Concentración (E2E3co)

Según De Porta (1974) la Formación Concentración incluye todos los estratos del terciario medio a superior que se desarrollan concordantemente sobre las Areniscas del Picacho.

En la vereda Quinchatoque del municipio de Tibana se identificaron arenitas color amarillo oscuro algo rojizo, grano medio a grueso muy bien seleccionadas. Algunas veces cubiertos por coluviones.

A través de las pendientes más pronunciadas se identificaron manantiales y canales perimetrales de conducción de agua. Razón por la cual diferentes secciones de los afloramientos se encontraban húmedos.

Morfológicamente se identifican crestas homoclinales y ladera planas.

Además donde se cartografió esta unidad se identificaron horizontes de suelo que variaban desde los 60 cm hasta los 2 m.

Van der Hammen (1958) señala la edad de la Formación Concentración sería Eoceno medio-Oligoceno medio.

Otra exposición de esta formación se reconoció en límites de la vereda Guayabal – Chuscal del municipio de Ramiriquí y consisten principalmente en areniscas cuarcíticas color gris claro meteorizadas a amarillo rojizo. Intercaladas con arcillas amarillas y grises, formando algunas veces grietas desecación.

Las características litológicas de la zona así como su geomorfología y cobertura vegetal califican esta área como una zona de recarga hídrica.

2.2.2.1.3 Unidades del Neógeno

Estas unidades corresponden a depósitos sedimentarios recientes, que se encuentran cubriendo rocas del cretáceo y paleógeno.

La extensión geográfica de dichos depósitos en el área Mamapacha – Bijagual para la zona de protección está determinada por depósitos fluvio-glaciares y coluviales. Su identificación está caracterizada por la topografía suave lo que los hace fácilmente diferenciables.

2.2.2.1.3.1 Depósito Cuaternario Coluvial (Qc)

Se cartografiaron varios depósitos coluviales en los recorridos realizados en el macizo Mamapacha – Bijagual, los de mayor extensión se encuentran en la vereda, Usillo Chinavita, Valvanera en el municipio de Garagoa y El Común en el municipio de Ramiriquí. Generalmente se observaron cómo bloques subangulares y subredondeados de alta esfericidad, en la vereda Usillo estos bloques corresponden a cuarzoarenitas de color blanco para la roca fresca y rojiza en las muestras meteorizadas.

Otros depósitos coluviales corresponden a acumulaciones sobre el valle de la Quebrada Volcanera en el municipio de Garagoa. Consiste en guijos, cantos y bloques de hasta 36 cm de diámetro, de cuarzoarenitas blancos de grano muy fino, muy bien seleccionadas generalmente subredondeados de alta esfericidad, embebidos en una matriz arenosa. Algunos cantos presentan mayor resistencia que otros y su densidad varía. Corresponde a una sección grano creciente de base a techo. En este punto fue característico observar gran cantidad de óxidos de hierro que le dan una coloración amarilla rojiza al agua.

También en la Quebrada Las moyas, vereda Guanica Molino del municipio de Garagoa, se observaron bloques de hasta 2 m de diámetro, cantos y gujarros subangulares a 7 subredondeados que consisten en areniscas cuarzosas muy fuertes. Allí se identificó un volumen considerable de sedimentos que han generado barras de cauce, estos a su vez han dado espacio a la formación de zonas meandricas.

Estos depósitos presentan textura muy heterogénea desde bloques y cantos de grandes diámetros hasta partículas tamaño arcilla que se acumulan en las quebradas, valles, planos o sobre la base de escarpes debido a procesos de remoción en masa y también favorecidos en algunos casos por avenidas o flujos torrenciales provenientes de las cabeceras de estos drenajes.

2.2.2.1.3.2 Depósito Fluvioglacial (Qfg)

La mayor exposición de este depósito, en el área declarada corresponde a la parte alta de la vereda Albañil en el municipio de Ciénega. Se componen de bloques y cantos angulares a subangulares de alta esfericidad, embebidos en una matriz arenosa de grano medio a fino. Consiste en areniscas de color gris claro y a veces rosado claro.

El afloramiento se define por la gran cantidad de vegetación que lo cubre, como puya, helecho y demás cobertura vegetal característica de las zonas de páramo. Este factor así como sus rasgos litológicos principalmente arenosos favorece la acumulación de agua, es por ello que a través de los poros de la roca discurre un apreciable volumen de agua.

2.2.2.2 Estructuras tectónicas.

2.2.2.2.1 Geología Estructural.

En este apartado se hará referencia a las principales estructuras geológicas locales que presentan gran extensión geográfica en el área protegida, así como, su intervención en los diferentes procesos geológicos. El análisis tendrá en cuenta principalmente la capacidad de retención y regulación del agua asociado al fallamiento y plegamiento de las rocas en esta área. Teniendo en cuenta que el fracturamiento y plegamiento de las rocas sedimentarias pueden favorecer o dificultar la circulación del agua subterránea.

Para el área en cuestión se identificaron un total de 6 fallas y pliegues principales, que como procesos dinámicos de la tierra, intervienen en la regulación del agua y sirven para identificar los mejores emplazamientos de esta a nivel local.

Las estructuras geológicas enmarcadas en el área declarada y que tienen influencia directa con la provisión de servicios ambientales son las siguientes.

2.2.2.2.1.1 Falla de Soapaga

Esta Falla en el área declarada pone en contacto rocas Cretáceas de la Formación Une con rocas del paleógeno, Formación Socha superior, principalmente hacia la zona noreste en la vereda Ortigal del municipio de Ramiriquí.

La Falla de Soapaga es una falla inversa con orientación NE, su trazo cambia abruptamente y toma una dirección casi transversal NW y finaliza contra una falla inversa orientada NE cuyo trazo proviene aproximadamente desde el municipio de Úmbita.

La falla produce el levantamiento de un bloque conformado por la Formación Chipaque con pliegues sinclinales y anticlinales que literalmente se monta sobre el flanco occidental del Sinclinal de Úmbita produciendo repetición estratigráfica de la misma Formación Chipaque y colocando en contacto con rocas paleógenas y cretácicas pertenecientes al Grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna) y a las formaciones Guaduas, Socha Inferior y Socha Superior, (Terraza *et al.*, 2010).

2.2.2.2.1.2 Falla Guayabal

Posiblemente debe su nombre al sector Guayabal en el municipio de Ramiriquí, lugar muy cerca al trazo de esta, donde además es interceptada por la falla Hermitaño. En este punto la falla pone en contacto a la Formación Arenisca Dura sobre la Formación Guaduas (K2E1g). Es una falla inversa de alto ángulo con rumbo general N60°E y buzamiento de 42° al noroeste, es decir con vergencia al SE (Terraza *et al.*, 2010).

2.2.2.2.1.3 Falla Hermitaño

Su trazo va paralelo a la cuchilla Hermitaño de la cual toma su nombre. En el área declarada pone en contacto rocas de la Formación Arenisca dura sobre Formación Chipaque (K2K3ch). La Falla Hermitaño es una falla inversa de alto ángulo con dirección aproximada N45°E y vergencia al SE (el plano de falla se inclina al NW), Terraza *et al.*, (2010).

2.2.2.2.1.4 Falla Río Garagoa

Es una falla inversa con componente transcurrente dextral, salto vertical y vergencia al SE, que controla el cauce del Río Garagoa entre los municipios de Garagoa y Chinavita. El trazo de la falla inicia casi en el municipio de Sutatenza y finaliza muy cerca al cerro Doña Francisca que es la prolongación al norte del cerro Mamapachá localizado al oriente de Chinavita. Al SW del área declarada pone en contacto rocas de la Formación Fómeque (K1j) con rocas de la Formación Une, por la cual realiza su mayor trazo.

2.2.2.2.1.5 Sinclinal de Úmbita

Es el segundo pliegue más importante del área de estudio con una extensión superior a los 36 km y una amplitud de unos 10 km. Este sinclinal presenta dirección general NE pero el trazo de su eje es sinuoso por lo cual en algunos sectores toma orientación E-W. Es un pliegue suave en cuyo núcleo aparecen rocas de la Formación Concentración (E2E3co).

2.2.2.2.1.6 Sinclinal de Mamapacha

Es uno de los más importantes en el área declarada tanto por sus dimensiones (casi 18 km en su parte más ancha y más de 45 km de extensión, Terraza., *et al* 2010) como por su ubicación geográfica sobre rocas de la Formación Une, las cuales se caracterizan por presentar buenas permeabilidades.

Es un sinclinal suave, vertical, orientado al NE del municipio de Garagoa y cuyo eje corresponde a rocas de la Formación Une; a esta estructura se relacionan varios pliegues sinclinales y anticlinales de segundo y tercer orden por lo que se podría considerar como un sinclinorio. Por ejemplo el sinclinal de Quigua en Garagoa que también presenta una dirección NE, sus flancos están compuestos principalmente por rocas de la Formación Fómeque.

En general el fracturamiento de las rocas sedimentarias del área declarada que son intervenidas por estas fallas, favorece la porosidad secundaria en algunas unidades como la Formación Une y Socha inferior principalmente, factor que determina la facilidad con que el agua puede distribuirse a través de los poros de la roca.

Se relacionan los sinclinales ya que estas estructuras son los mejores sitios de acumulación potencial de agua y para el área protegida, el eje de estas estructuras se encuentra sobre rocas con condiciones de porosidad y permeabilidad favorables para la acumulación y distribución del agua subterránea.

2.2.2.3 Evolución Geológica.

Para tener un contexto de los eventos que dieron lugar a la depositación de las formaciones que hacen parte del área declarada de los páramos Mamapacha y Bijagual, se relaciona la Tabla 2.2-2, allí se describe el desarrollo en tiempo geológico de los procesos asociados a la depositación de estas unidades.

Como descripción general y de acuerdo a la zonificación de tierras de Boyacá (2005), la zona que ocupa hoy la cordillera Oriental estuvo sometida a varios procesos transgresivos y regresivos del mar que se produjeron por levantamientos orogénicos y subsidencias de grandes bloques de corteza continental. Las evidencias de estos eventos se conservan en el registro litológico y paleontológico de la región, lo cual facilita su datación. Durante el Paleozoico Inferior (Cámbrico, Ordovícico y posiblemente hasta el Silúrico), la zona estaba bajo el nivel del mar y ocurrió una sedimentación marina que concluyó con un movimiento orogénico el cual levantó, plegó y fracturó las rocas sedimentarias.

Tabla 2.2-2. *Evolución Geológica, procesos y eventos en Mamapacha – Bijagual*

| Periodo | Edad | Ma | Evento |
|------------------|----------------------------|----------|--|
| CRETÁCICO | Berriasiano | 114 -138 | Las áreas emergidas fueron cubiertas por el mar |
| | Berriasiano - Valanginiano | 138 -131 | Sedimentación marina en un ambiente de aguas poco profundas (Lutitas de Macanal) |
| | Hauteriviano - Berriasiano | 131- 119 | Con el relleno de la cuenca del río Garagoa se presentó el retiro de las aguas marinas y se presentó la depositación de los clastos gruesos que dieron origen a las rocas de la denominada Formación areniscas de las Juntas |
| | Aptiano | 119 -113 | El área volvió a hundirse depositándose sedimentos finos que corresponden a la Formación Fόμεque |
| | Albiano - Maastrichtiano | 113 - 66 | Se presentan fluctuaciones en la cuenca del río Garagoa, en el nivel base por el relleno de esta y movimientos tectónicos |
| | Albiano - Cenomaniano | 113 -91 | Se depositaron los sedimentos de la Formación Une (K1u) |
| | Turoniano - Coniaciano | 91 - 88 | Se depositaron los sedimentos |

| Periodo | Edad | Ma | Evento |
|--------------------|------------------------------|--------|--|
| | | | de las Formaciones Chipaque, Churuvita y Conejo |
| | Santoniano - Maastrichtiano | 88 -66 | En la región occidental de la cuenca, se depositaron sedimentos en aguas poco profundas con influencia deltaica (Grupo Guadalupe) |
| PALEÓGENO | Limite Cretácico - Paleógeno | 65 | Se presentó la depositación de los sedimentos arcillosos y arenosos de la Formación Guaduas, la cual se caracteriza por presentar mantos de carbón |
| | Durante el Paleógeno | 66 -2 | La sedimentación paso de ser marina a continental con varios movimientos tectónicos que culminaron con la denominada Orogenia Andina (Evento generado por las fuerza de la Tectónica de placas, que dio origen a la cordillera de Los Andes). En este periodo se depositaron los sedimentos de las denominadas Formaciones: Cacho, Bogotá, Socha Inferior, Socha Superior y Concentración. |
| CUATERNARIO | Neógeno - Holoceno | 2 | Inicialmente se presenta la depositación de los sedimentos de la Formación Tilata. Posteriormente se presentan los procesos de denudación, erosión y translocación de materiales preexistentes, cuya sedimentación da lugar a los depósitos de tipo glacial y coluvial producto además del deshielo de las masas glaciarias (Qc, Qfg). |

Fuente. Modificado, Moreno et al., (2014)




2.2.2.4 Amenazas geológicas.

Las principales amenazas geológicas que se identificaron en el área declarada están determinadas por procesos morfodinámicos, específicamente por fenómenos de remoción en masa, de los cuales se caracterizaron principalmente dos: deslizamientos rotacionales y translacionales.



Además se identificaron áreas que se encuentran susceptibles ya sea por factores como la socavación lateral de las principales vertientes, es decir erosión fluvial, y zonas susceptibles a inundación.



En la Tabla 2.2-3, se mencionan algunos de las principales afectaciones geológicas que se reconocieron mediante las jornadas de campo, a través de las cuales se corroboró que uno de los municipios con mayor recurrencia de estos fenómenos geológicos es Chinavita, seguido de Garagoa, Ramiriquí, Tibana, Ciénega y Viracachá, respectivamente. Cabe resaltar que estos puntos fueron identificados en las zonas límite del área declarada. Para realizar el análisis general además de la información primaria obtenida en campo, se tuvo en cuenta la identificación cartográfica de Corpochivor (Shape Invmm _ Corpoch).

Tabla 2.2-3. Identificación de las principales amenazas, en el área declarada Macizo Mamapacha- Bijagual

| Tipo de Amenaza | Coordenadas | | Municipio | Registro Fotográfico |
|--|-------------|---------|-----------|---|
| | E | N | | |
| Deslizamiento Rotacional con pérdida de la banca. | 1082875 | 1059572 | Garagoa |  |
| Socavación lateral del río Cienegano. Avenidas torrenciales, inundación. | 1089049 | 1057456 | Garagoa |  |
| Socavación lateral del río Sicha. Avenidas torrenciales, deslizamiento planar. | 1081989 | 1063169 | Chinavita |  |

| | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|-------------------|--|
| | | | | |
| Deslizamiento Rotacional. | 1075671 | 1070727 | Chinavita, Usillo |  |
| Deslizamiento Translacional | 1075823 | 1071155 | Chinavita |  |

| Tipo de Amenaza | Coordenadas | | Municipio | Registro Fotográfico |
|-----------------------------|-------------|---------|-----------|---|
| | E | N | | |
| Deslizamiento Translacional | 1076015 | 1073854 | Tibana |  |
| Deslizamiento Translacional | 1084143 | 1071162 | Ramiriquí |  |

| | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------|-----------|--|
| | | | | |
| Deslizamiento Rotacional | 1084885 | 1089380 | Ciénega |  |
| Socavación lateral de la Quebrada | 1088004 | 1090879 | Viracachá |  |

Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA, 2015

2.3 Geomorfología Local

2.3.1 Metodología.

Para entender los procesos modeladores del terreno, se realizó un análisis e identificación de las geoformas que hacen parte del área declarada. La descripción que a continuación se realiza está definida por la información cartográfica existente (Mapa 8) y la comprobación mediante el reconocimiento en campo.

2.3.2 Resultados.

2.3.2.1 Morfogénesis.

2.3.2.1.1 Unidades Denudacionales.

En el DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual se presentan escarpes con longitudes generalmente largas en donde la forma de la ladera corresponde a cóncava, donde se infiere un origen lateral fluvial, puesto que la mayor parte de las vertientes de la zona han socavado y erosionado las laderas dándole una

configuración a veces remontante a los drenajes mayores. Las montañas y laderas denudacionales se presenta en formaciones de mediana resistencia como la Formación Fómeque (K1f).

2.3.2.1.2 Unidades de montañas y colinas estructurales

En el área local se logra identificar laderas estructurales sinclinales ubicadas en la zona noreste de Viracachá y barras estructurales como las que se encuentran en la zona centro, dirección este del polígono en estudio. Esta últimas presentan pendientes abruptas, de longitud larga y formas cóncavas, en donde las laderas se caracterizan por presentar estratos inclinados a favor de la pendiente conformando artesas.



Ocurre en rocas de alta resistencia, donde los procesos denudativos son secundarios y las geoformas se deben a procesos estructurales principalmente. El cerro de Mamapacha se encuentra sobre rocas de alta resistencia por lo que ha dado paso a colinas de cima plana limitada algunas veces por escarpes abruptos, generando una configuración gradual a medida que se prolonga hacia el norte.

2.3.2.1.3 Unidades de Origen Periglacial y Glacial

Son de gran importancia por las geoformas originadas a partir de la erosión intensa que generan las grandes masas de hielo, a través del tiempo geológico, en zonas de alta montaña definiendo en gran parte del área declarada.

En la zona está definido por los depósitos fluvioglaciales y las laderas glaciadas, estas son representativas hacia la zona norte del polígono, en el municipio de Viracachá, en donde además está conformando valles glaciares. Se debe tener en cuenta que en las jornadas de campo se identificaron relieves de pendientes abruptas al pie de las cuales se acumulan depósitos de roca suelta, indicador de pisos periglaciares heredados, ver Tabla 2.3-1. Cabe mencionar que aunque el nivel altitudinal corroborado en campo está por debajo de la cota mínima para determinar el piso periglacial, su condición geomorfológica y topográfica ratifican su existencia.

Tabla 2.3-1. Identificación de geformas resultantes de ambientes glaciares

| Características del piso morfogénico | Coordenadas | | Ubicación | Fotografía | Altura | Piso morfogénico asociado |
|---|-------------|---------|-------------------------------------|---|---------|---------------------------|
| | E | N | Municipio | | m.s.n.m | |
| Relieves abruptos, pendientes fuertes, al pie de los cuales se acumulan depósitos de roca suelta. | 1075893 | 1071110 | Chinavita, Usillo |  | 2239 | Periglacial heredado |
| | 1083499 | 1062589 | Chinavita, parte alta zanja arriba. |  | 2193 | |

Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA, 2015

2.3.2.1.4 Unidades de origen deposicional – erosional

Está representada por los depósitos cuaternarios de origen coluvial compuestos por materiales provenientes de las rocas preexistentes y depositadas en las zonas bajas por acción del agua y la pendiente. Un ejemplo de esta unidad se encuentra en el municipio de Garagoa carretera que conduce a Quigua, geográficamente al sur de área declarada.

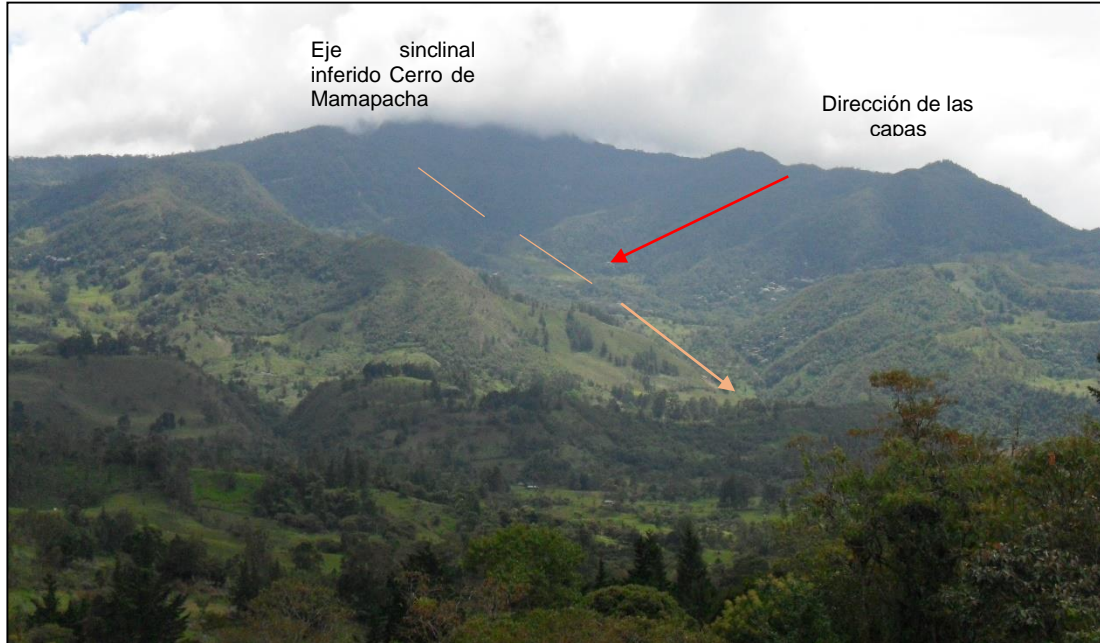
A partir de las principales geoformas se establece una relación con el mantenimiento de servicios ecosistémicos y su vulnerabilidad ante procesos de intervención antrópica. Las geoformas glaciales representan masas de hielo que asociadas a diferentes procesos geológicos cambiantes, modelan, transforman y acumulan cantidades apreciables de agua. Por ello cualquier intervención antrópica (principalmente minera) define a estas geoformas altamente susceptibles. Puesto que su disposición geomorfológica, topográfica y hasta litológica comprende la regulación del ciclo hidrológico (Tabla 2.3-2).

Tabla 2.3-2. *Relación del ambiente glacial y periglacial con la regulación del agua*

| Unidad geomorfológica | Geoformas asociadas | Servicio ecosistémico |
|--------------------------------|-----------------------------|--|
| Ambiente glacial y periglacial | Ladera estructural glaciada | La inclinación de las capas a favor de la pendiente, facilitan la infiltración de grandes volúmenes de agua a los valles más próximos. |
| | Valle glaciario | Área de acumulación y retención de agua proveniente de las zonas más altas. |
| | Laguna Glaciario | Acumulación de cuerpos de agua en zonas montañosas glaciadas |
| | Morrenas | |

Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

En el área declarada otro ambiente que realiza su aporte y que propicia la retención del agua, son las laderas estructurales sinclinales (*Figura 2.3-1*, Tabla 2.3-1). Esta geoforma se evidenció tanto en la zona norte del polígono de estudio, Viracachá, así como en la zona sur, vereda Zanja arriba en el municipio de Garagoa. La estructura en artesa y la disposición de las capas a favor de la pendiente son acumuladores potenciales de agua.



Ladera estructural sinclinal, caracterizada por su forma en artesa. Fotografía tomada desde el punto con coordenadas E: 1.081.657 N: 1.060.856 altura: 1956 m.s.n.m. en la vereda Zanja arriba del municipio de Garagoa.

Figura 2.3-1. Unidades de montaña estructural – Ladera estructural
Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA, 2015

2.4 Estructuras tectónicas

En este apartado se hará referencia a las principales estructuras geológicas locales que presentan gran extensión geográfica en el área declarada, así como sobre su intervención en los diferentes procesos geológicos.

2.4.1 Metodología.

Se realizó la recopilación, selección y análisis de parte de la literatura disponible y relacionada con aspectos de la geología estructural con énfasis en zonas de cizalla y fallas, las unidades geológicas y estructuras presentes en la zona, a nivel local. Seguido se procedió a realizar recorridos sistemáticos (traversas estructurales) de la zona de estudio aprovechando los cortes de los drenajes principales y algunos carreteables, a escala 1:25.000, con el fin de obtener los datos litológicos y estructurales, así mismo diferenciar unidades geológicas.

2.4.2 Resultados.

2.4.2.1 Geología Estructural.

Para el área protegida de Mamapacha y Bijagual se identificaron un total de 6 fallas y pliegues principales, que intervienen en la regulación del agua y sirven para identificar los mejores emplazamientos a nivel local.

Las estructuras geológicas enmarcadas en el área declarada y que tienen influencia directa con la provisión de servicios ambientales son las siguientes.

2.4.2.1.1 Falla de Soapaga

Esta falla en el área declarada pone en contacto rocas cretáceas de la formación Une con rocas del paleógeno, formación Socha superior, principalmente hacia la zona noreste en la vereda Ortigal del municipio de Ramiriquí.

La Falla de Soapaga es una falla inversa con orientación NE su trazo cambia abruptamente y toma una dirección casi transversal NW y finaliza contra una falla inversa orientada NE cuyo trazo proviene aproximadamente desde el municipio de Úmbita.

La falla produce el levantamiento de un bloque conformado por la Formación Chipaque con pliegues sinclinales y anticlinales que literalmente se monta sobre el flanco occidental del Sinclinal de Úmbita produciendo repetición estratigráfica de la misma Formación Chipaque y colocando en contacto con rocas paleógenas y cretácicas pertenecientes al Grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna) y a las formaciones Guaduas, Socha Inferior y Socha Superior, (Terraza *et al.*, 2010).

2.4.2.1.2 Falla Guayabal

Posiblemente debe su nombre al sector Guayabal en el municipio de Ramiriquí, lugar muy cerca al trazo de esta, donde además es interceptada por la falla Hermitaño. En este punto la falla pone en contacto a la Formación Arenisca Dura sobre la Formación Guaduas (K2E1g), se caracteriza por ser una falla inversa de alto ángulo con rumbo general N60°E y buzamiento de 42° al noroeste, es decir con vergencia al SE (Terraza et al, 2010).

2.4.2.1.3 Falla Hermitaño

Su trazo va paralelo a la cuchilla Hermitaño de la cual toma su nombre. En el área protegida pone en contacto rocas de la Formación Arenisca dura sobre Formación Chipaque (K2K3ch), es una falla inversa de alto ángulo con dirección aproximada N45°E y vergencia al SE (el plano de falla se inclina al NW), Terraza *et al.*, (2010).

2.4.2.1.4 Falla Río Garagoa

Es una falla inversa con componente transcurrente dextral, salto vertical y vergencia al SE, que controla el cauce del Río Garagoa entre los municipios de Garagoa y Chinavitá. El trazo de la falla inicia en el municipio de Sutatenza y finaliza muy cerca al cerro Doña Francisca que es la prolongación al norte del cerro Mamapachá localizado al oriente de Chinavita, al SW del área del DRMI pone en contacto rocas de la Formación Fόμεque (K1j) con rocas de la Formación Une.

2.4.2.1.5 Sinclinal de Úmbita

Fue el segundo pliegue más importante del área de estudio con una extensión superior a los 36 km y una amplitud de unos 10 km. Este sinclinal presenta dirección general NE pero el trazo de su eje es sinuoso por lo cual en algunos sectores toma orientación E-W, siendo un pliegue suave en cuyo núcleo aparecen rocas de la Formación Concentración (E2E3co).

2.4.2.1.6 Sinclinal de Mamapacha

Es uno de los más importantes en el área declarada, tanto por sus dimensiones (casi 18 km en su parte más ancha y más de 45 km de extensión, Terraza., *et al*

2010) como por su ubicación geográfica sobre rocas de la Formación Une, las cuales se caracterizan por presentar buenas permeabilidades.

Es un sinclinal suave, vertical, orientado al NE del municipio de Garagoa y cuyo eje corresponde a rocas de la Formación Une; a esta estructura se relacionan varios pliegues sinclinales y anticlinales de segundo y tercer orden por lo que se podría considerar como un sinclinorio. Por ejemplo el sinclinal de Quigua en Garagoa que también presenta una dirección NE, sus flancos están compuestos principalmente por rocas de la Formación Fómeque.

En general el fracturamiento de las rocas sedimentarias del área protegida que son intervenidas por estas fallas, favorece la porosidad secundaria en algunas unidades como la Formación Une y Socha inferior principalmente, factor que determina la facilidad con que el agua puede distribuirse a través de los poros de la roca.

Se relacionan los sinclinales ya que estas estructuras son los mejores sitios de acumulación potencial de agua y para el área protegida, el eje de estas estructuras se encuentra sobre rocas con condiciones de porosidad y permeabilidad favorables para la acumulación y distribución del agua subterránea.

2.5 Hidrogeología

Una de las características principales para entender la circulación del agua subterránea en el subsuelo es la definición de las unidades hidroestratigráficas, razón por la cual, para el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual se clasificaron dependiendo de su capacidad de almacenamiento, es decir teniendo en cuenta su porosidad y permeabilidad.

2.5.1 Metodología.

Para la clasificación de las unidades, se identificaron las formaciones con características de porosidad y litología que permitieran la recarga de las unidades hidrogeológicas, para ello se empleó la información cartográfica del SIAT de CORPOCHIVOR y la plancha 2010 de INGEOMINAS.

2.5.2 Resultados.

2.5.2.1 Unidades Hidroestratigráficas.

2.5.2.1.1 Unidades Acuíferas.

En la *Tabla 2.5-1* se clasificaron las formaciones geológicas que de acuerdo a sus condiciones litológicas y estructurales tienen la capacidad de almacenar agua, es decir son permeables (Mapa7).

Tabla 2.5-1. Definición de unidades acuíferas para el del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual

| | Unidad hidroestratigráficas | Litología predominante | Tipo de porosidad |
|-----------------------------------|---|---|--|
| Unidades definidas como acuíferos | Formación Une (K1k2u) | Cuarzoarenitas | Porosidad primaria y secundaria por fracturamiento y sobre crecimiento del cuarzo |
| | Labor y tierna (K2g) | Arenitas cuarzosas grano medio bien sorteadas | Porosidad secundaria, por presentarse como rocas bien consolidadas y altamente fracturadas |
| | Socha Inferior (E1s1) | Arenitas de grano medio a grueso, algunas veces fino | Porosidad primaria interpartículas y secundaria por disolución |
| | Picacho (E2p) | Areniscas de grano medio a fino | Porosidad primaria interpartículas y secundaria por disolución |
| | Cuaternalio coluvial y fluvioglacial (Qc & Qfg) | Cuarzoarenitas, areniscas y algunas intercalaciones de arcillolitas | Porosidad primaria por ser materiales inconsolidados |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Para la definición de la permeabilidad de cada unidad se tuvo en cuenta las condiciones litoestratigráficas y texturales de la roca, identificadas en campo (Ver unidades litoestratigráficas 2.2.1).

Además, para definir la clasificación, respecto a la porosidad, se toma la información secundaria del estudio petrográfico de la Cuenca de Soapaga para la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH (2007), por lo tanto:

Formación Une (K1K2u): Esta formación presenta una gran extensión a lo largo y ancho del área evaluada. A su vez, se comporta como un acuífero libre principalmente hacia la zona sur, en inmediaciones al cerro de Mamapacha y su prolongación. En la zona norte se denota como un acuífero, ya que la

formación guaduas se comporta como roca sello, razón por la cual el movimiento del agua no se daría en cantidades apreciables. Sin embargo, esta es una de las unidades más representativas y de gran capacidad de explotación del recurso hídrico subterráneo. La porosidad de la formación Une (K1K2u) es calificada como buena, donde el principal componente de la porosidad corresponde a poros primarios interpartículas en cantidades hasta de 19.2 %, seguida por la porosidad secundaria por disolución hasta 7.2 %, (Valbuena & Correa 2007).

Labor y Tierna (K2lt): Esta formación se clasifica como un acuífero confinado, de mediana a alta productividad a nivel regional. Se presenta como una roca bien consolidada y con alto fracturamiento, características que la clasifican como rocas muy permeables y de gran importancia hidrogeológica, aunque su extensión en el área declarada es mínima.

Socha Inferior (E1si): Se comporta como un acuífero confinado, de acuerdo a la ANH (2007) de porosidad primaria interpartículas mayoritariamente, seguido de porosidad secundaria por disolución, dándole un carácter de buena permeabilidad.

Picaho (E2p): Se clasifica como acuífero semiconfinado por encontrarse limitado tanto en la base como en el techo por rocas de la Formación Socha superior y Concentración. Su permeabilidad es buena, determinada a razón de su porcentaje en porosidad primaria (24%). Se clasifica como un acuífero de alta a mediana importancia hidrogeológica.

Las mejores porosidades y permeabilidades corresponden a las unidades hidroestratigráficas anteriormente mencionadas, razón por la cual se clasifican como acuíferos de moderada importancia hidrogeológica, excepto la Formación Une (K1K2u) que por su extensión en el área declarada es calificada como la formación con mejor capacidad de infiltración.

2.5.2.1.2 Unidades Acuitardos.

Para el área declarada se definieron las siguientes unidades de acuitardos (Tabla 2.5-2).

Tabla 2.5-2. *Unidades definidas como Acuitardos*

| | Unidad Hidroestratigrafía | Litología predominante | Tipo de porosidad |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Unidades definidas como acuitardos | Formación Fόμεque (K1f) | Arcillolitas y bancos pequeños de cuarzoarenitas | Porosidad baja |
| | Formación Chipaque(K2cp) | Arcillolitas intercaladas con lodolitas y mantos de carbón. | Porosidad baja |
| | Formación Conejo (K2c) | Limolitas intercaladas con areniscas cuarcíticas | Los bancos de areniscas presentan fracturamiento, lo que le da una porosidad secundaria, sin embargo su porosidad es baja |
| | Guadalupe (K2g) | Arcillolita intercalada con areniscas | Porosidad regular a mala |
| | Guaduas (K2E1g) | Sucesión lutítica, intercalada con areniscas y capas de carbón | Porosidad regular |
| | Socha superior (E1ss) | Niveles arcillosos y arenosos | Porosidad regular a mala |
| | Concentración (E2E3co) | Arcillolitas con niveles importantes de arenitas | Porosidad regular |

Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.5.2.2 Estructuras hidrogeológicas.

Se identificaron dos estructuras hidrogeológicas, que se describen a continuación.

Sinclinal de Úmbita

Esta es una de las estructuras de mayor extensión en el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual, su trazo corresponde a la zona norte, principalmente sobre la vereda Guayabal en el municipio de Ramiriquí. Su núcleo corresponde a rocas de la Formación Concentración y presenta una orientación NE – SW. Su posición estratigráfica está definida como acuitardo, sin embargo dicha estructura es de gran importancia hidrogeológica.

Sinclinal de Mamapacha

Esta estructura de dirección NE – SW es de gran importancia ya que aparte de ser un sitio potencial de acumulación de agua, su eje está controlado por rocas

de la Formación Une (K1K2u) que como ya se ha mencionado posee unas características litológicas favorables para la acumulación, así como una porosidad y permeabilidad destacable.

Cabe resaltar que presenta sinclinales menores es decir se denotaría como un sinclinorio, aumentando aún más su importancia hidrogeológica.

2.5.2.3 Zonas de recarga.

Para lograr una síntesis de los aspectos geológicos (litológicos y estructurales) y geomorfológicos, asociados a la capacidad de retención y regulación del agua, se identifican las zonas, que debido a estas condiciones favorecen la infiltración del agua y su distribución a lo largo del área de estudio.

2.5.2.3.1 Zonas de recarga natural de acuíferos

De acuerdo al análisis litoestratigráfico, estructural y geomorfológico, el área que presenta mayor permeabilidad corresponde a la zona sur, ubicada geográficamente en la alta montaña, cerro de Mamapacha y sus inmediaciones. Asociado se encuentran estructuras de gran dimensión con el Sinclinal que lleva su mismo nombre y presenta el trazo de su eje sobre rocas de la Formación Une (K1K2u).

Teniendo en cuenta además que las mayores precipitaciones se dan en esta área (Ver 2.1.2.2 Isoyetas), es decir, la roca almacén favorecida por las precipitaciones y las estructuras geológicas regulan en gran medida la distribución del agua en dirección norte del área evaluada.

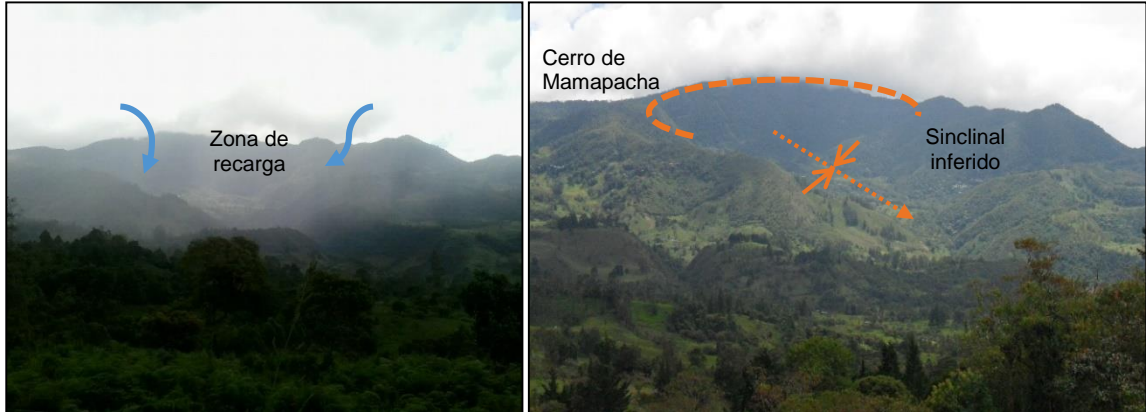
El modelado glacial en estas zonas de alta montaña contribuye en la acumulación del recurso hídrico debido al desplazamiento de las masas de hielo que originaron geofomas que actúan como conductoras de agua, facilitando su acumulación como lo son las laderas glaciadas o las lagunas glaciales que corresponden a cuerpos de agua de gran importancia en zonas de alta montaña que además regulan el ciclo hidrológico, a partir del cual se inicia el proceso de retención y distribución de los volúmenes del agua en cualquier zona, ver (2.3.2.1.3 Unidades de Origen Periglacial y Glacial).

Cabe destacar que en el área de estudio las zonas de recarga están favorecidas además por espesas capas de vegetación que de acuerdo a la correlación con los pisos morfogénicos, varían desde piso andino hasta páramo.

2.5.2.3.2 Zonas de recarga natural de acuitardos

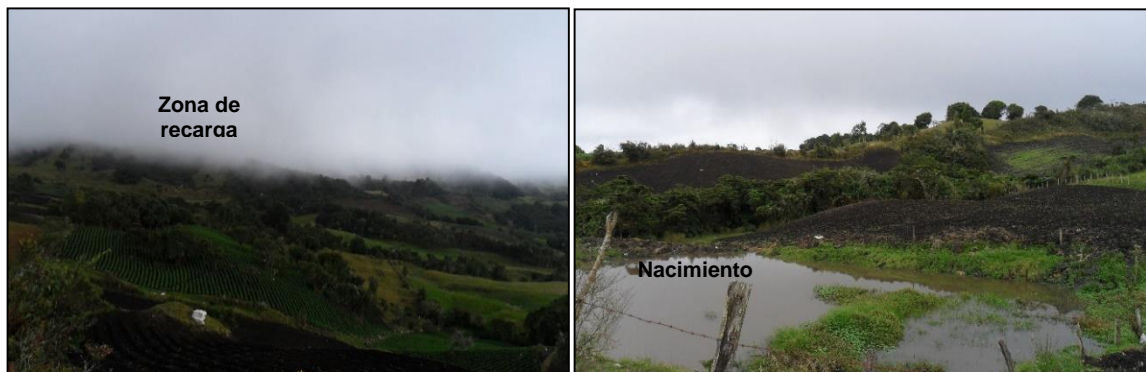
El sinclinal de Úmbita favorece la recarga hídrica hacia la zona norte, el trazo de su eje sobre rocas de la formación Concentración en sus niveles más arenosos favorece la acumulación, así como los flancos los cuales corresponden a rocas

del picacho (E2p), pero su distribución está controlada por las rocas adyacentes con niveles arcillolíticos poco permeables, que en tal caso actúan como acuitardos, formación Socha superior (E1ss).



Representa los diversos procesos geológicos que favorecen la infiltración de agua en el macizo de Mamapacha – Bijagual. Foto tomada desde el punto con coordenadas E: 1.081.657 N: 1.060.856 vereda Guanica Molinos, municipio de Garagoa. Bovacá.

Figura 2.5-1. Fotografías zonas de recarga de acuíferos zona sur



Ladera glaciada de pendiente suave y nacimientos favorecidos por la recarga hídrica. Foto tomada en el punto con coordenadas E: 1.086.227 N: 1.083.650 altura: 3024 m.s.n.m vereda Farquentá, municipio de Ramiriquí, Boyacá.

Figura 2.5-2. Fotografías zonas de recarga de acuíferos zona norte

La acumulación de agua en medios poco permeables en el área se da por el volumen de agua precipitado y por el gradiente altitudinal que asociado al modelado glacial permiten el flujo de esta en forma muy lenta en comparación con los acuíferos.

2.5.2.3.3 Zonas de descarga natural.

La explotación y abastecimiento del recurso hídrico en la zona occidental de norte a sur, así como el comportamiento de las precipitaciones en aumento desde la zona sureste permiten inferir que las zonas más altas corresponden a zonas de recarga y la zonas más bajas a descargas. Razón por la cual muchas de las captaciones están ubicadas en la zona oeste.

En general, el medio de mayor permeabilidad se da hacia la alta montaña favorecida por las altas precipitaciones y en algunos casos por su litología como en el cerro de Mamapacha donde se comporta como un acuífero libre. Sin embargo, hacia la zona norte esta misma formación realiza su aporte y regulación a rocas menos permeables y que actúan como rocas sello como la Formación Chipaque, definiendo entonces a la Formación Une como un acuífero confinado.

El flujo del agua va desde los pisos glaciales a periglaciales por ser zonas de alta montaña y con las características morfogénicas y estructurales anteriormente mencionadas, están regulando el movimiento del agua, a razón de sus precipitaciones, en sentido sureste a noroeste.

2.6 Pendientes

2.6.1 Metodología.

La caracterización de las pendientes del área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual se realizó teniendo en cuenta los grados de inclinación, para los cuales se establecieron categorías correspondientes (Tabla 2.6-1).

Tabla 2.6-1 Categorías de pendientes según su grado de inclinación

| Índice de inclinación de la ladera | Grados de inclinación |
|------------------------------------|-----------------------|
| Muy inclinada | 11° - 15° |
| Abrupta | 16° - 20° |
| Muy abrupta | 21° - 30° |
| Escarpada | 31° -45° |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.6.2 Resultados.

La caracterización de la pendiente se realizó con la finalidad de analizar si existe una relación entre el grado de pendiente y la susceptibilidad de los movimientos en masa. El mapa de pendiente se generó a partir de los siguientes rangos, corroborados en campo (Mapa 10) (Tabla 2.6-2).

Tabla 2.6-2 Resumen de información morfométrica recopilada en jornadas de campo

| Índice de inclinación de la ladera | Grados de inclinación | Municipio | Vereda | Estación | Coordenadas | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-------------|---------|
| | | | | | E | N |
| Escarpada | 31° -45° | Garagoa | Quigua | 1 | 1083113 | 1054239 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | Garagoa | Quigua Arriba | 6 | 1088928 | 1056996 |
| Escarpada | 31° -45° | Garagoa | Guanica Molino | 9 | 1083090 | 1058694 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | Garagoa | Guanica Molino | 11 | 1083107 | 1058471 |
| Escarpada | 31° -45° | Garagoa | Zanja arriba | 13 | 1081657 | 1060856 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | | | | | |
| Escarpada | 31° -45° | Chinavita | Zanja arriba | 3 | 1083253 | 1062278 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | | | | | |
| Escarpada | 31° -45° | Chinavita | Zanja arriba - Sitio La esperanza | 4 | 1083499 | 1062589 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | Tibana | Quinchatoque | 1 | 1075918 | 1074224 |
| Escarpada | 31° -45° | Tibana | Quinchatoque | 5.1 | 1077370 | 1074380 |
| Abrupta | 16° - 20° | Ramiriquí | Farquenta | 15 | 1086227 | 1083050 |
| Muy inclinada | 11° - 15° | | | | | |
| Abrupta | 16° - 20° | Ramiriquí | El común | 16 | 1086458 | 1084883 |
| Muy inclinada | 11° - 15° | | | | | |
| Escarpada | 31° -45° | Ciénega | Tapias alto | 3 | 1088507 | 1085320 |
| Abrupta | 16° - 20° | Viracachá | Pueblo viejo | 2 | 1091507 | 1093958 |
| Escarpada | 31° -45° | Viracachá | Loma Gorda | 6 | 1092679 | 1092890 |
| Muy abrupta | 21° - 30° | | | | | |

Fuente. CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.7 Hidrografía

Con el fin de comprender el comportamiento hidrológico de cada una de las microcuencas que hacen parte del macizo Mamapacha y Bijagual, se analizarán sus principales características geomorfológicas (*Figura 2.7-1*). Así mismo, dichas características, junto con los atributos del suelo, sus usos y la cobertura vegetal, se incorporan como variables de importancia que permiten evaluar una microcuenca frente a casos de máxima precipitación, los cuales pueden generar crecientes o avenidas que provocan impactos sobre los pobladores de la región. En consecuencia, el conocimiento del comportamiento hidrológico resulta de suma importancia en la gestión del riesgo, y para el diseño y construcción de infraestructura

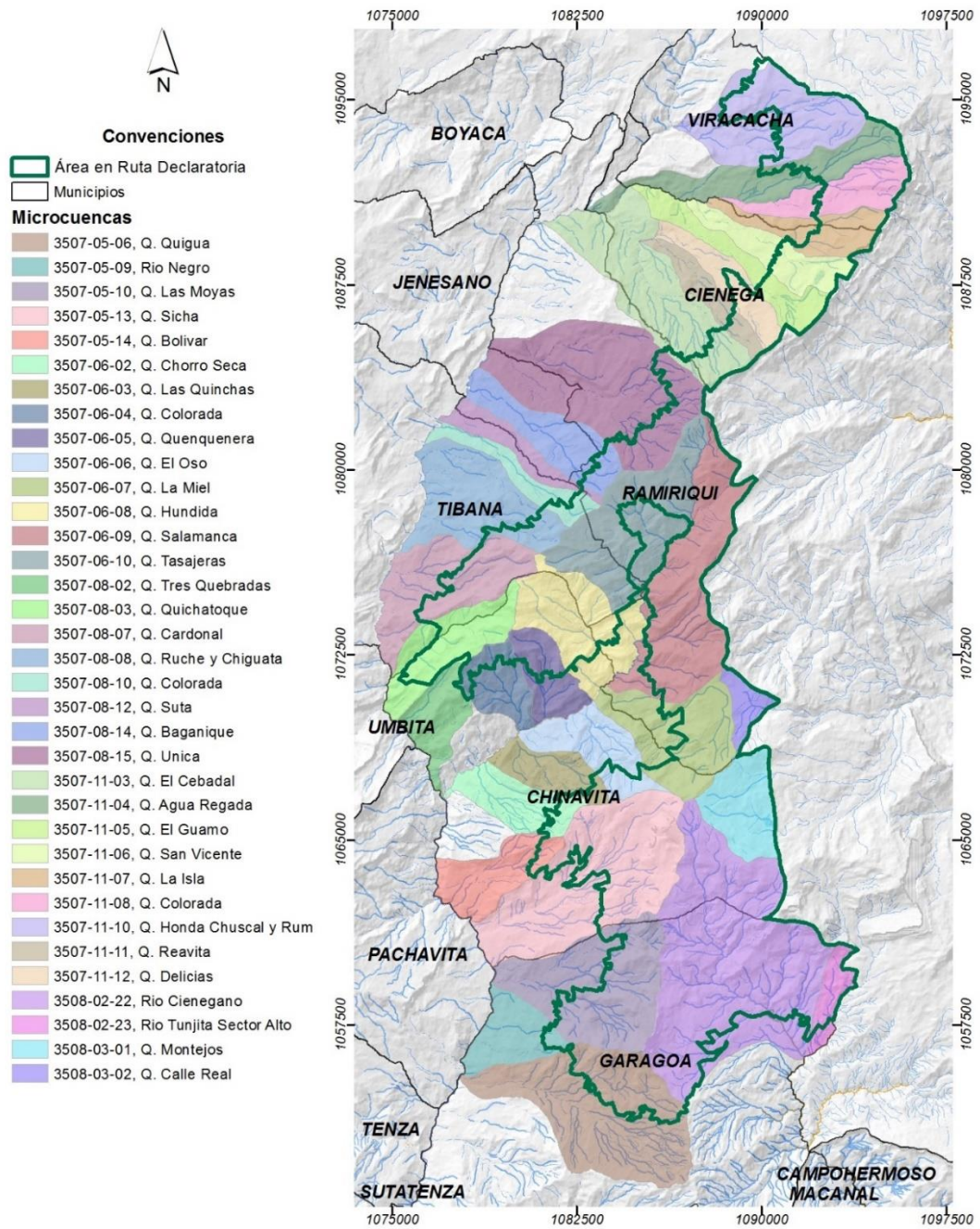


Figura 2.7-1. Microcuencas pertenecientes al Macizo Mamapacha-Bijagual
Fuente: IDEAM 2015

2.7.1 Metodología.

El Macizo Mamapacha-Bijagual está conformado por 4 subcuencas que a su vez están integradas por 35 microcuencas como se muestra en la Tabla 2.7-1.

Tabla 2.7-1. Subcuencas y microcuencas que conforman el área declarada Mamapacha-Bijagual

| Subcuenca | Microcuenca | Subcuenca | Microcuenca |
|-------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Río Juyasia | Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | Río Fusavita | Quebrada Tasajeras |
| | Quebrada Agua Regada | | Quebrada Salamanca |
| | Quebrada Colorada | | Quebrada Hundida |
| | Quebrada La Isla | | Quebrada La Miel |
| | Quebrada San Vicente | | Quebrada Quenquenera |
| | Quebrada. El Guamo | | Quebrada Colorada |
| | Quebrada Las Delicias | | Quebrada Chorro Seca |
| | Quebrada El Cebadal | | Quebrada Las Quinchas |
| | Quebrada Reavita | | Quebrada El Oso |
| Río Tibaná | Quebrada Única | Río Garagoa | Quebrada Calle Real |
| | Quebrada Baganique | | Quebrada. Bolivar |
| | Quebrada Suta | | Quebrada Sicha |
| | Quebrada Colorada | | Quebrada Montejos |
| | Quebrada Ruche y Chiguatá | | Quebrada Las moyas |
| | Quebrada Cardonal | | Rio Negro |
| | Quebrada Quichatoque | | Quebrada Quigua |
| | Quebrada Tres Quebradas | | Rio Cienegano |
| | | Rio Tunjita Sector Alto | |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

Para el cálculo de las características geomorfológicas de las microcuencas se utilizaron las herramientas del software GVSIG. El análisis se realiza por cada uno de los parámetros anteriormente descritos.

Por otra parte y con base a la cartografía suministrada por CORPOCHIVOR en formato PDF y Shape file, se nombrarán algunos nacimientos de agua y

quebradas principales que hacen parte de las microcuencas. Así mismo, se describirán cada una de las subcuencas pertenecientes al área declarada.

2.7.1.1 Area de cada microcuenca

Es el área plana (proyección horizontal limitada por la línea imaginaria llamada divisoria de aguas). Las subáreas analizadas fueron definidas por CORPOCHIVOR como microcuencas, sin embargo, se realizó una comparación con la clasificación de subáreas según su extensión definidas por el autor (Gavilán, s. f.). (Tabla 2.7-2).

Tabla 2.7-2. Clasificación de subáreas según su extensión

| Subárea | Extensión (km²) |
|--------------------|-----------------------------------|
| Unidad hidrológica | < a 5 |
| Sector hidrológico | De 5 a 20 |
| Microcuenca | De 20 a 100 |
| Subcuenca | De 100 a 300 |
| Cuenca | > 300 |

Fuente: Gavilán, s. f.

2.7.1.2 Perímetro de las microcuencas.

Para estimar el perímetro se tuvo en cuenta el borde del contorno (límite exterior) de la forma irregular de la cuenca proyectada en un plano horizontal, que se obtuvo una vez delimitada la cuenca (Cahuana & Yugar, 2009).

2.7.1.3 Longitud del cauce principal.

Se calculó en kilómetros, con la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

2.7.1.4 Desnivel altitudinal.

El desnivel se calculó teniendo en cuenta el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja

$$DA = HM - Hm$$

En donde,

DA: Desnivel altitudinal (m)

HM: Cota más alta de la Microcuenca (m)

Hm: Cota más baja de la Microcuenca (m)

2.7.1.5 Pendiente media del cauce principal.

Se estimó con base en la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo. Se halló para cada microcuenca mediante la siguiente fórmula

$$S_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L}$$

En donde,

Hmax: Cota máxima (m)

Hmin: Cota mínima (m)

L: Longitud del cauce principal (m)

Sm: Pendiente media del tramo del cauce

Según el valor de pendiente las microcuencas se agruparon en las categorías de la tabla Tabla 2.7-3.

Tabla 2.7-3. Clasificación de pendiente en el cauce principal

| Pendiente, en porcentaje | Tipo de terreno |
|---------------------------------|-------------------------|
| 2 | Llano |
| 5 | Suave |
| 10 | Accidentado medio |
| 15 | Accidentado |
| 25 | Fuertemente accidentado |
| 50 | Escarpado |
| > 50 | Muy escarpado |

Fuente: (Cahuana & Yugar, 2009)

2.7.1.6 Factor de forma (Kf).

El factor de forma (Kf) se calculó para cada una de las microcuencas por medio de la fórmula

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

En donde:

L: Longitud axial de la cuenca (Km)

A: Área de drenaje (Km²).

Una hoya de factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma (Tabla 2.7-4).

Tabla 2.7-4. Valores interpretativos del factor forma

| Valores aproximados | Forma de la cuenca |
|---------------------|---------------------------|
| < 0,22 | Muy alargada |
| 0,22 - 0,30 | Alargada |
| 0,30 - 0,37 | Ligeramente alargada |
| 0,37 - 0,450 | Ni alargada ni ensanchada |
| 0,45 - 0,60 | Ligeramente ensanchada |
| 0,60 - 0,80 | Ensanchada |
| 0,80 - 1,20 | Muy ensanchada |
| > 1,20 | Rodeando el desagüe |

Fuente: (Delgadillo & Moreno, s. f.)

2.7.1.7 Coeficiente de Compacidad de Gravelius (K_c)

Se calculó para cada microcuenca mediante la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}}$$

En donde:

P: perímetro de la cuenca (Km)

A: área de drenaje de la cuenca (Km²).

Con base en la cuantificación de la forma propuesta por Gravelius, se han determinado las siguientes categorías para su clasificación (Tabla 2.7-5):

Tabla 2.7-5. Coeficiente de compacidad de Gravelius (K_c)

| Valores de K _c | Forma | Características |
|---------------------------|------------------------------------|---|
| 1 - 1,25 | Compacta o redonda a oval redonda | Cuenca torrencial peligrosa |
| 1,25 - 1,50 | Oval redonda a oval oblonga | Presenta peligros potenciales pero no iguales a la anterior |
| 1,50 - 1,75 | Oval oblonga a rectangular oblonga | son las cuencas que tienen menos torrencialidad |

Fuente: (Londoño, 2001)

2.7.1.8 Tiempo de concentración. (Tc)

Para hallar el tiempo de concentración de cada microcuenca se utilizó la fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.06626 \left(\frac{L_p^2}{S} \right)^{0.385}$$

En donde,

Tc: Tiempo de concentración (hr)

Lp: Longitud del curso principal (Km)

Sp: Pendiente del curso principal (m/m)

H: Diferencia de cotas entre el punto más alto y el de estudio (m)

A: Área de drenaje (área de la cuenca), (Km)

Las categorías de tiempo de concentración (Tc) se clasificaron de acuerdo a Fuentes (2004) (Tabla 2.7-6)

Tabla 2.7-6. Clases de tiempo de concentración

| Rangos de Tc (min) | Clases |
|--------------------|----------|
| 0-41.6 | Rápido |
| 41.7-83.2 | Moderado |
| 83.3-125.1 | Lento |

Fuente: (Fuentes, 2004)

2.7.2 Resultados.

2.7.2.1 Área de cada microcuenca.

Los resultados para el área de cada microcuenca se encuentran en la Tabla 2.7-7 (Mapa 11).

Tabla 2.7-7. Áreas por microcuenca

| Microcuenca | Área (Km ²) | Microcuenca | Área (Km ²) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Rio Cienegano | 52,9 | Quebrada Montejos | 10 |
| Quebrada Sicha | 33,5 | Quebrada Bolívar | 9,7 |
| Quebrada Única | 33,1 | Quebrada Colorada | 8,8 |
| Quebrada Quigua | 30,9 | Quebrada Chorro Seca | 8,6 |
| Quebrada Salamanca | 26,1 | Quebrada El Guamo | 8,5 |
| Quebrada Las Moyas | 23,9 | Rio Negro | 8,4 |
| Quebrada El Cebadal | 23,3 | Quebrada San Vicente | 8,1 |
| Quebrada Tasajeras | 22,2 | Quebrada La Isla | 8 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q | 19,6 | Quebrada Tres Quebradas | 7,2 |

| Microcuenca | Área (Km ²) | Microcuenca | Área (Km ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ruma | | | |
| Quebrada Ruche y Chiguata | 17,6 | Quebrada Colorada | 7 |
| Quebrada Cardonal | 17,4 | Quebrada Quenquenera | 7 |
| Quebrada La Miel | 16,6 | Quebrada Las Quinchas | 6,9 |
| Quebrada. Hundida | 16,5 | Quebrada Delicias | 6,7 |
| Quebrada Agua Regada | 13,8 | Quebrada Colorada | 5,8 |
| Quebrada Quichatoque | 11,8 | Quebrada Suta | 5,6 |
| Quebrada Baganique | 11,1 | Quebrada Reavita | 5,3 |
| Quebrada El Oso | 10,1 | Rio Tunjita Sector Alto | 4 |
| | | Quebrada Calle Real | 3,3 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

Según la Tabla 2.7-7, dos microcuencas tienen un área menor a 5 km² (Unidad hidrológica), 25 un área comprendida entre 5 y 20 km² (sector hidrológico), mientras que 8 según Gavilán, (s. f.) coinciden la denominación de microcuencas por tener un área mayor a 20 km².

Los caudales promedios, promedios mínimos y máximos instantáneos, crecen a medida que crece el área de la cuenca, sin embargo, esta afirmación no siempre se cumple pues también intervienen variables como el régimen de precipitaciones y otras condiciones fisiográficas (Londoño, 2001).

Tabla 2.7-8. Clasificación de subareas según su extensión en km²

| Subárea | Cantidad |
|--------------------|----------|
| Sector hidrológico | 25 |
| Microcuenca | 8 |
| Unidad hidrológica | 2 |
| TOTAL | 35 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.7.2.2 Perímetro de las microcuencas.

Los resultados de perímetro para cada microcuenca se presentan en la Tabla 2.7-9. En promedio las microcuencas presentan un perímetro de 19.6 km. La microcuenca con el mayor perímetro se registra en el Rio Cienegano con 37.5 km y la microcuenca de menor perímetro es la de Calle Real con 9.7 km.

Tabla 2.7-9. Perímetro por microcuenca

| Microcuenca | Perímetro (Km) | Microcuenca | Perímetro (Km) |
|---------------|----------------|--------------------|----------------|
| Rio Cienegano | 37,5 | Quebrada Baganique | 18,2 |

| Microcuenca | Perímetro (Km) | Microcuenca | Perímetro (Km) |
|------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Quebrada Salamanca | 34,6 | Quebrada Quichatoque | 18,1 |
| Quebrada Agua Regada | 30,7 | Quebrada San Vicente | 18,1 |
| Quebrada El Cebadal | 28,4 | Quebrada El Oso | 17,4 |
| Quebrada Sicha | 26,5 | Quebrada La Isla | 17,4 |
| Quebrada Quigua | 26 | Quebrada Suta | 16,8 |
| Quebrada Tasajeras | 25,4 | Quebrada Delicias | 16,1 |
| Quebrada Única | 25 | Quebrada Bolívar | 15,5 |
| Quebrada El Guamo | 22,8 | Quebrada Reavita | 15,4 |
| Quebrada Cardonal | 21,7 | Quebrada Chorro Seca | 14,8 |
| Quebrada Hundida | 21,6 | Quebrada Tres Quebradas | 14,8 |
| Quebrada Ruche y Chiguata | 21,5 | Rio Negro | 14,1 |
| Quebrada Las Moyas | 21,4 | Quebrada Montejos | 13,5 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 19,8 | Quebrada Las Quinchas | 12,6 |
| Quebrada La Miel | 19,2 | Quebrada Quenquenera | 12,4 |
| Quebrada Colorada | 18,6 | Rio Tunjita Sector Alto | 12,2 |
| Quebrada Colorada | 18,4 | Quebrada Colorada | 11,3 |
| | | Quebrada Calle Real | 9,7 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.3 Longitud del cauce principal.

Los resultados de cauce principal para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-10). La longitud promedio del cauce principal para las microcuencas que componen el área declarada del páramo Mamapacha-Bijagual es de 6.5 km. La máxima longitud del cauce principal la presenta la microcuenca del Río Cienegano con 13.5 km mientras que la de menor longitud la presenta la Microcuenca Q. Calle Real.

Tabla 2.7-10. Longitud del cauce principal

| Microcuenca | Longitud Del Cauce Principal (Km) | Microcuenca | Longitud Del Cauce Principal (Km) |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Rio Cienegano | 13,5 | Quebrada Quichatoque | 6,6 |
| Quebrada Quigua | 11,7 | Quebrada Cardonal | 6,3 |
| Quebrada Sicha | 10,6 | Quebrada Hundida | 6,2 |
| Quebrada Única | 10,4 | Quebrada Bolívar | 5,6 |
| Quebrada El Cebadal | 10,3 | Quebrada Agua Regada | 5 |

| Microcuenca | Longitud Del Cauce Principal (Km) | Microcuenca | Longitud Del Cauce Principal (Km) |
|------------------------------|---|-------------------------|---|
| Quebrada La Miel | 10,1 | Quebrada Tasajeras | 4,9 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 8,9 | Quebrada Chorro Seca | 4,8 |
| Quebrada El Guamo | 8,7 | Quebrada Quenquenera | 4,5 |
| Quebrada Baganique | 7,9 | Quebrada El Oso | 4,4 |
| Quebrada Colorada | 7,9 | Quebrada Colorada | 3,9 |
| Quebrada Las Moyas | 7,8 | Quebrada Colorada | 3,8 |
| Quebrada Delicias | 7,4 | Quebrada Las Quinchas | 3,7 |
| Quebrada San Vicente | 7,3 | Quebrada Salamanca | 3,7 |
| Quebrada Suta | 7,3 | Rio Negro | 3,7 |
| Quebrada Reavita | 7,1 | Quebrada Montejos | 3,4 |
| Quebrada La Isla | 7 | Quebrada Tres Quebradas | 3,3 |
| Quebrada Ruche y Chiguata | 6,7 | Rio Tunjita Sector Alto | 2,3 |
| | | Quebrada Calle Real | 2 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.4 Desnivel altitudinal

Los resultados de desnivel altitudinal para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-11). El mayor desnivel altitudinal se presenta en la microcuenca Q. Sicha con un valor de 1900 m, mientras que el menor desnivel altitudinal se presenta en la microcuenca Q. Tasajeras 275. En promedio, la variación de desnivel altitudinal es de 907 m.

Tabla 2.7-11. *Desnivel altitudinal por microcuenca*

| Microcuenca | Desnivel Altitudinal (M) | Microcuenca | Desnivel Altitudinal (M) |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Quebrada Sicha | 1900 | Quebrada La Isla | 925 |
| Quebrada Agua Regada | 1300 | Quebrada Baganique | 900 |
| Quebrada Las Moyas | 1225 | Quebrada El Guamo | 900 |
| Quebrada Quigua | 1225 | Quebrada Colorada | 875 |
| Quebrada Única | 1100 | Quebrada Suta | 875 |
| Quebrada Quichatoque | 1075 | Rio Negro | 875 |
| Quebrada Colorada | 1050 | Rio Tunjita Sector Alto | 875 |
| Quebrada Bolívar | 1000 | Quebrada Colorada | 850 |

| Microcuenca | Desnivel Altitudinal (M) | Microcuenca | Desnivel Altitudinal (M) |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| Q. Honda, Q. Chuscal y Q. Ruma | 1000 | Quebrada La Miel | 850 |
| Quebrada Cardonal | 975 | Quebrada Reavita | 825 |
| Quebrada Salamanca | 975 | Quebrada San Vicente | 725 |
| Quebrada Tres Quebradas | 975 | Quebrada El Oso | 700 |
| Quebrada Las Quinchas | 950 | Quebrada Hundida | 700 |
| Quebrada Quenquenera | 950 | Quebrada Delicias | 675 |
| Quebrada Ruche y Chiguata | 950 | Rio Cienegano | 625 |
| Quebrada Chorro Seca | 925 | Quebrada Calle Real | 425 |
| Quebrada El Cebadal | 925 | Quebrada Montejos | 375 |
| | | Quebrada Tasajeras | 275 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.5 Pendiente media del cauce principal

Los resultados de pendiente media del cauce principal para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-12). De las microcuencas analizadas 13 (37 %) se encuentran bajo terreno accidentado, seguidas por las de terreno accidentado medio con 11 (31%), posteriormente 6 microcuencas (17%) se encuentran sobre terreno muy accidentado y solo 5 (14%) sobre terreno suave. El anterior resultado permite definir que zonas con pendientes fuertes (17% de las microcuencas) son vulnerables a presentar mayor frecuencia de problemas de erosión, y por otra parte, tendrán mayor velocidad de escurrimiento del agua.

Tabla 2.7-12. Pendiente media del cauce principal por microcuenca

| Microcuenca | Pendiente Media De La Cuenca (Sm) En % | Microcuenca | Pendiente Media De La Cuenca (Sm) En % |
|-------------------------|--|--------------------------------|--|
| Rio Tunjita Sector Alto | 37 | Quebrada Ruche y Chiguata | 14 |
| Quebrada Tres Quebradas | 30 | Quebrada La Isla | 13 |
| Quebrada Colorada | 27 | Quebrada Reavita | 12 |
| Quebrada Salamanca | 27 | Quebrada Suta | 12 |
| Quebrada Agua Regada | 26 | Quebrada Baganique | 11 |
| Quebrada Las Quinchas | 25 | Quebrada Colorada | 11 |
| Rio Negro | 24 | Q. Honda, Q. Chuscal y Q. Ruma | 11 |
| Quebrada Colorada | 22 | Quebrada Hundida | 11 |

| Microcuenca | Pendiente Media De La Cuenca (Sm) En % | Microcuenca | Pendiente Media De La Cuenca (Sm) En % |
|----------------------|---|----------------------|---|
| Quebrada Calle Real | 21 | Quebrada Montejos | 11 |
| Quebrada Quenquenera | 21 | Quebrada Única | 11 |
| Quebrada Chorro Seca | 19 | Quebrada El Guamo | 10 |
| Quebrada Bolívar | 18 | Quebrada Quigua | 10 |
| Quebrada Sicha | 18 | Quebrada San Vicente | 10 |
| Quebrada El Oso | 16 | Quebrada Delicias | 9 |
| Quebrada Las Moyas | 16 | Quebrada. El Cebadal | 9 |
| Quebrada Quichatoque | 16 | Quebrada La Miel | 8 |
| Quebrada Cardonal | 15 | Quebrada Tasajeras | 6 |
| | | Rio Cienegano | 5 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.6 Factor forma (K_f)

Los resultados de factor forma para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-13):

Tabla 2.7-13. Factor forma por microcuenca

| Microcuenca | Factor Forma (K_f) | Microcuenca | Factor Forma (K_f) |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Quebrada Salamanca | 2 | Quebrada Bolívar | 0,31 |
| Quebrada Montejos | 0,9 | Quebrada Quenquenera | 0,3 |
| Quebrada Tasajeras | 0,9 | Quebrada Quichatoque | 0,3 |
| Quebrada Calle Real | 0,79 | Quebrada Sicha | 0,3 |
| Quebrada Tres Quebradas | 0,7 | Quebrada Única | 0,3 |
| Rio Tunjita Sector Alto | 0,7 | Rio Cienegano | 0,3 |
| Quebrada Colorada | 0,6 | Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 0,25 |
| Rio Negro | 0,6 | Quebrada El Cebadal | 0,22 |
| Quebrada Agua Regada | 0,54 | Quebrada Quigua | 0,2 |
| Quebrada. El Oso | 0,52 | Quebrada San Vicente | 0,2 |
| Quebrada Las Quinchas | 0,5 | Quebrada Baganique | 0,18 |
| Quebrada Colorada | 0,46 | Quebrada La Isla | 0,16 |
| Quebrada Cardonal | 0,44 | Quebrada La Miel | 0,16 |

| Microcuenca | Factor Forma (Kf) | Microcuenca | Factor Forma (Kf) |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Quebrada Hundida | 0,43 | Quebrada Delicias | 0,12 |
| Quebrada Las Moyas | 0,4 | Quebrada El Guamo | 0,11 |
| Quebrada Ruche y Chiguata | 0,4 | Quebrada Reavita | 0,1 |
| Quebrada Chorro Seca | 0,38 | Quebrada Suta | 0,1 |
| | | Quebrada Colorada | 0,09 |

Fuente: con base en información SIAT CORPOCHIVOR

Fueron identificadas un total de 8 formas de microcuencas dependiendo de su factor de forma (Kf), de las cuales las más abundantes fueron las de forma muy alargada y alargada, seguida por las ensanchadas, y la menos abundante “rodeando el desagüe” (Tabla 2.7-14). La forma y superficie de una microcuenca es un factor determinante en el escurrimiento resultante de la lluvia, así el escurrimiento no se concentra tan rápidamente en una cuenca con forma alargada como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor (Londoño, 2001). Lo anterior se deriva en que microcuencas con formas alargadas se traducen hidrológicamente en una baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales. De tal forma se registra que la Quebrada Salamanca es la microcuenca que posee mayor susceptibilidad a las avenidas torrenciales.

Tabla 2.7-14. Número de microcuenca por formas

| Factor de Forma (Kf) | Número de microcuencas |
|---------------------------|------------------------|
| Muy alargada | 9 |
| Alargada | 6 |
| Ensanchada | 5 |
| Ni alargada ni ensanchada | 5 |
| Ligeramente ensanchada | 4 |
| Ligeramente alargada | 3 |
| Muy ensanchada | 2 |
| Rodeando el desagüe | 1 |
| Total | 35 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.7 Coeficiente de Compacidad de Gravelius (K_c).

Los resultados de coeficiente de compacidad para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-15). Las cuencas más ensanchadas poseen mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua a

través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas. En otras palabras, las cuencas ensanchadas tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando mayor violencia en sus crecidas (Delgadillo & Moreno, s. f.). Con base en la tabla anterior, un poco más de la mitad de las microcuencas (57.1%) presentan forma oval oblonga a rectangular oblonga, es decir que el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos bruscos en caso de un evento de precipitación máxima. Las microcuencas que se clasificaron como una cuenca torrencial peligrosa (1-1,25) fueron Quebrada la Honda, Chuscal, Ruma, Colorada, Las Moyas, Montejos y Única.

Tabla 2.7-15. Coeficiente compacidad de Gravelius (Kc)

| Microcuenca | Coeficiente De Compacidad (Kc) | Microcuenca | Coeficiente De Compacidad (Kc) |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Quebrada Agua Regada | 2,31 | Quebrada Tres Quebradas | 1,5 |
| Quebrada El Guamo | 2,2 | Quebrada Hundida | 1,49 |
| Quebrada Colorada | 2,14 | Quebrada Cardonal | 1,45 |
| Quebrada Suta | 2 | Quebrada Chorro Seca | 1,41 |
| Quebrada Reavita | 1,9 | Quebrada Ruche y Chiguata | 1,4 |
| Quebrada Salamanca | 1,9 | Rio Cienegano | 1,4 |
| Quebrada San Vicente | 1,8 | Rio Negro | 1,4 |
| Quebrada Colorada | 1,76 | Quebrada Bolívar | 1,39 |
| Quebrada Delicias | 1,75 | Quebrada La Miel | 1,32 |
| Quebrada La Isla | 1,73 | Quebrada Las Quinchas | 1,3 |
| Rio Tunjita Sector Alto | 1,7 | Quebrada Quenquenera | 1,3 |
| Quebrada El Cebadal | 1,65 | Quebrada Quigua | 1,3 |
| Quebrada Baganique | 1,54 | Quebrada Sicha | 1,3 |
| Quebrada El Oso | 1,54 | Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 1,25 |
| Quebrada Calle Real | 1,51 | Quebrada Colorada | 1,2 |
| Quebrada Quichatoque | 1,5 | Quebrada Las Moyas | 1,2 |
| Quebrada Tasajeras | 1,5 | Quebrada Montejos | 1,2 |
| | | Quebrada Única | 1,2 |

Fuente: con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.2.8 Tiempo de concentración (Tc)

Para la determinación del tiempo de concentración se utilizó la fórmula propuesta por Kirpich (1940) puesto que ha sido ya usada en diferentes estudios para esa región del departamento (CORPOCHIVOR 2014). Los resultados del tiempo de concentración para cada microcuenca son los siguientes (Tabla 2.7-16). Según la clasificación de tiempo de concentración las

microcuencas con tiempos rápidos son las más abundantes, representado el 65% (23 microcuencas) seguidas por la de tiempo moderado 31% (11 microcuencas) y solo una de clasificación lenta (Rio cienegano).

Tabla 2.7-16. *Tiempo de concentración por microcuenca*

| Microcuenca | Tc Kirpich (Min) | Microcuenca | Tc Kirpich (Min) |
|------------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| Rio Cienegano | 96,23 | Quebrada Hundida | 37,52 |
| Quebrada Quigua | 63,17 | Quebrada Ruche y Chiguata | 36,4 |
| Quebrada La Miel | 61,13 | Quebrada Quichatoque | 33,98 |
| Quebrada El Cebadal | 60,41 | Quebrada Cardonal | 33,69 |
| Quebrada Única | 57,17 | Quebrada Bolívar | 29,32 |
| Quebrada El Guamo | 50,65 | Quebrada El Oso | 25,32 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 49,82 | Quebrada Chorro Seca | 24,79 |
| Quebrada Sicha | 47,69 | Quebrada Montejos | 23,67 |
| Quebrada Delicias | 46,64 | Quebrada Agua Regada | 23,31 |
| Quebrada Colorada | 45,57 | Quebrada Quenquenera | 22,98 |
| Quebrada San Vicente | 44,79 | Quebrada Colorada | 20,44 |
| Quebrada Baganique | 44,76 | Rio Negro | 18,8 |
| Quebrada Suta | 41,64 | Quebrada Las Quinchas | 18,6 |
| Quebrada Tasajeras | 41,36 | Quebrada Colorada | 18,36 |
| Quebrada Reavita | 41,32 | Quebrada Salamanca | 17,93 |
| Quebrada Las Moyas | 39,25 | Quebrada Tres Quebradas | 15,82 |
| Quebrada La Isla | 38,63 | Quebrada Calle Real | 12,53 |
| | | Rio Tunjita Sector Alto | 11,17 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.7.3 Clasificación de los cursos de agua.

El DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual se encuentra dentro de la cuenca del rio Garagoa y esta a su vez lo conforman las subcuencas rio Juyasía, río Tibaná, río Fusavita y río Garagoa

2.7.3.1 Cuenca Río Garagoa.

El río Garagoa nace en suroriente del municipio de Samacá, en el páramo de Rabanal. Desde su inicio toma el nombre de Río Teatinos, que por la confluencia de numerosas quebradas toma el nombre de Río Boyacá al cual drenan las aguas del Río Juyasía y a partir de allí se conoce como Río Jenesano y Río Tibaná. Éste se une con el Río Turmequé y toma el nombre de

Río Garagoa. Aguas abajo recibe aportes de los ríos El Bosque, Fusavita, Guaya y Súnuba, punto en el cual comienza el embalse “La Esmeralda”, después del cual continúa su recorrido con el nombre de Río Garagoa o Batá (Figura 2.7-2). En el área de jurisdicción de CORPOCHIVOR, CAR y CORPOBOYACÁ, el curso del Río Garagoa se extiende por una distancia aproximada de 103 Km. en sentido norte – sur pasando por los municipios de Samacá, Ventaquemada, Boyacá, Ramiriquí, Jenesano, Tibaná, Úmbita, Chinavita, Pachavita, Garagoa, Tenza, Sutatenza, Chivor, Almeida, Macanal y Santa María (CORPOCHIVOR, CORPOBOYACÁ, CAR, & Universidad Nacional de Colombia, 2005).

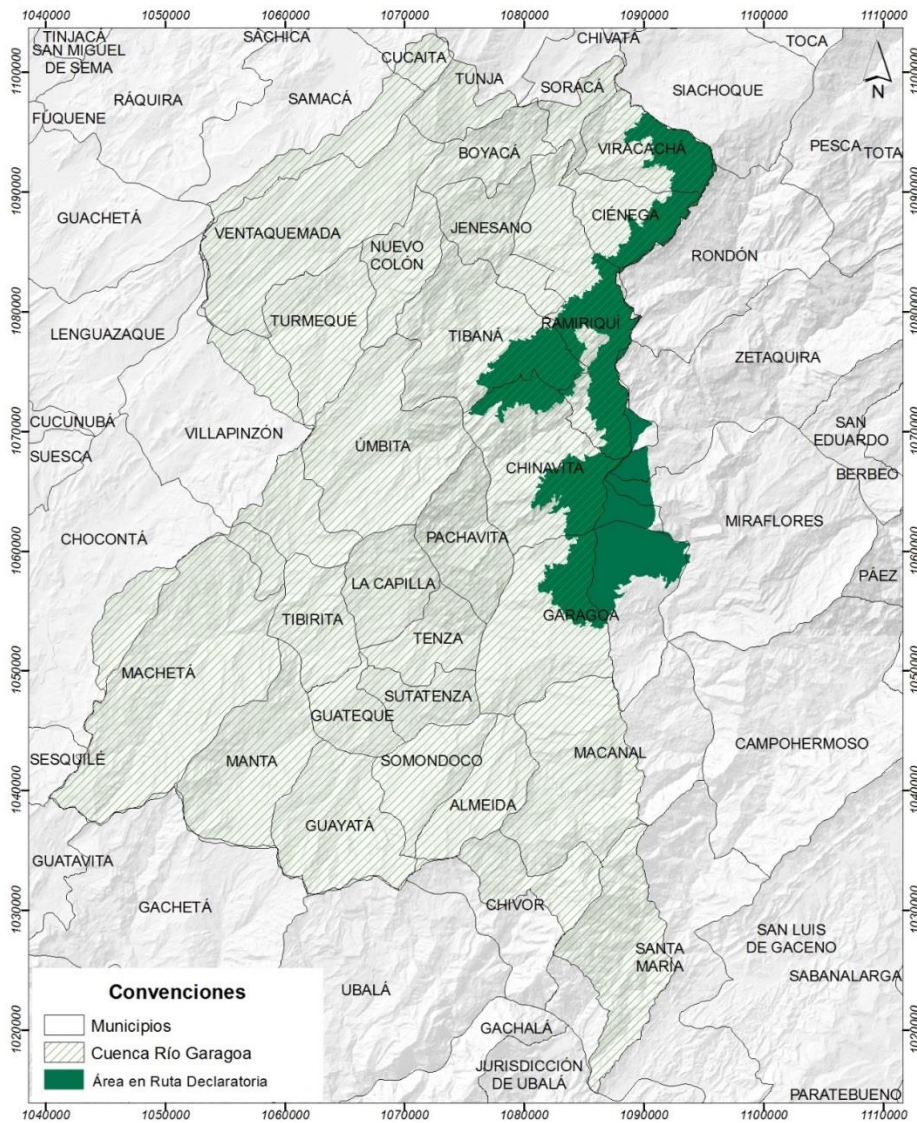


Figura 2.7-2. Cuenca río Garagoa

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información del IDEAM 2015

2.7.3.1.1 Subcuenca río Juyasía.

Tiene un área 129.24 Km². Está conformada por las cabeceras municipales de Viracachá, Ciénega y parte de Ramiriquí. Los principales afluentes del río Juyasía son las quebradas San Vicente, Las Delicias y El Chuscal. La mayor parte de la subcuenca presenta altitudes entre los 2000 y 3000 m.s.n.m y en una menor proporción alturas por encima de los 3000 m.s.n.m. (CORPOCHIVOR et al., 2005).

2.7.3.1.2 Subcuenca Río Tibaná.

Tiene un área 226.28 Km². Junto con la Subcuenca Juyasía hacen parte de la cuenca alta del río Garagoa. Está conformada por las cabeceras municipales de Tibaná, Jenesano y Ramiriquí. Los principales afluentes del río Tibaná son las quebradas Única, Cardonal y Colorada. La mayor parte de la Subcuenca presenta altitudes entre los 2000 y 3000 m.s.n.m y en una menor proporción alturas entre los 1000 y los 2000 m.s.n.m (veredas Quinchatoque y Chiguatá de Tibaná) y por encima de los 3000 m.s.n.m. (Guacamaya y Escobal de Ramiriquí) (CORPOCHIVOR et al., 2005).

2.7.3.1.3 Subcuenca Río Fusavita.

Tiene un área 125.89 Km². Está conformada por veredas de Chinavita y Ramiriquí. Los principales afluentes del río Juyasía son las quebradas El Oso, la Miel y Tasajeras. Presenta altitudes entre los 2000 y 3000 m.s.n.m y en una menor proporción alturas entre los 1000 y los 2000 m.s.n.m (veredas Juntas, Fusa y Los Quinchos de Chinavita) y por encima de los 3000 m.s.n.m. (Guayabal de Ramiriquí y Mundo Nuevo de Chinavita) (CORPOCHIVOR et al., 2005).

2.7.3.1.4 Subcuenca Río Garagoa.

Tiene un área 220.03 Km². Está conformada por las cabeceras municipales de Chinavita, Pachavita y Garagoa. Los principales afluentes del río Juyasía son las Quebradas Sicha, Las Moyas y Quigua. Gran parte de la Subcuenca presenta altitudes entre los 1000 y 3000 m.s.n.m y en una menor proporción alturas por encima de los 3000 m.s.n.m. (CORPOCHIVOR et al., 2005).

2.7.4 Identificación de lagunas y humedales.

Los nacimientos de agua, aljibes, manantiales y fuentes de agua expuestos a continuación fueron obtenidos de la base de datos de concesiones de agua de CORPOCHIVOR. El agua obtenida de estas fuentes naturales es usada para satisfacer la demanda por consumo de los habitantes y para el uso en diferentes sectores productivos. La información de lagunas y humedales fue obtenida de los EOT municipales y archivos shape file suministrados por la Corporación. La clasificación de aguas superficiales se realiza por microcuenca. En la

Tabla 2.7-17, Tabla 2.7-18, Tabla 2.7-19 se presenta la ubicación de los

| Nombre | Municipio | Vereda | Microcuena | Altitud | Área (Ha) |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------------------------|---------|--------------|
| Laguna Negra | Chinavita | Fusa | Quebrada Sicha | 2629 m. | 0,175 |
| Laguna la Tarea | | Mundo Nuevo | Quebrada Montejos | 3087 m. | 15,4 |
| Laguna San Nicolás | | | | 3294 m. | 1,20 |
| Laguna la Jarilla | | | | 3279 m. | 1,6 |
| Laguna Larga | Ciénega | Albañil | Quebrada El Guamo | 3137 m. | 0,27 |
| Laguna la Calderona | | | Quebrada San Vicente | 3131 m. | 13,12 |
| Laguna la Pensilvania | | | Quebrada El Guamo | 3124 m. | 0,8 |
| Laguna la Gloria | | | | 3117 m. | 1,40 |
| Laguna del Pato | Tibaná | Chiguata | Quebrada Hundida y Cardonal | 2890 | 0,05 |
| Humedal Loma Azul | | Suta Arriba | Quebrada Ruche y Chiguata | 2878 | 2,47 |
| Área Total | | | | | 36,48 |

principales cuerpos de agua superficiales

| Nombre | Municipio | Vereda | Microcuena | Altitud | Área (Ha) |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------------------------|---------|--------------|
| Laguna Negra | Chinavita | Fusa | Quebrada Sicha | 2629 m. | 0,175 |
| Laguna la Tarea | | Mundo Nuevo | Quebrada Montejos | 3087 m. | 15,4 |
| Laguna San Nicolás | | | | 3294 m. | 1,20 |
| Laguna la Jarilla | | | | 3279 m. | 1,6 |
| Laguna Larga | Ciénega | Albañil | Quebrada El Guamo | 3137 m. | 0,27 |
| Laguna la Calderona | | | Quebrada San Vicente | 3131 m. | 13,12 |
| Laguna la Pensilvania | | | Quebrada El Guamo | 3124 m. | 0,8 |
| Laguna la Gloria | | | | 3117 m. | 1,40 |
| Laguna del Pato | Tibaná | Chiguata | Quebrada Hundida y Cardonal | 2890 | 0,05 |
| Humedal Loma Azul | | Suta Arriba | Quebrada Ruche y Chiguata | 2878 | 2,47 |
| Área Total | | | | | 36,48 |

Tabla 2.7-17. *Lagunas en el área declarada.*

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

Tabla 2.7-18. *Humedales en el área declarada.*

| Nombre | Área (Ha) | Municipio |
|--|------------------|------------------|
| Humedal Sector El Común | 37,141 | Ramiriquí |
| Humedal Sector El Cebadal | 76,349 | Ciénega |
| Humedal Sector Las Delicias | 62,001 | Ciénega |
| Humedal Sector el Morro | 160,011 | Viracachá |
| Humedal Sector Laguna La Calderona | 331,397 | Ciénega |
| Humedal Sector El Plan del Guamo | 199,269 | Ciénega |
| Humedal Sector Guacamayas-Farquenta | 36,61 | Ramiriquí |
| Humedal Sector Rio Fusavita | 106,532 | Ramiriquí |
| Humedal Sector antigua Lag Agua Regada | 152,321 | Viracachá |
| Humedal sector Lagunas Arrebiatadas | NPI | Ciénega |
| Humedal Sector Alto de Quemba | 97,077 | Viracachá |
| Humedal Sector Pueblo Viejo | 81,334 | Viracachá |
| Humedal Sector de Chen | 60,617 | Viracachá |
| AREA TOTAL (ha) | 1400,659 | |

No posee información (NPI)

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

Tabla 2.7-19. *Turberas en el área declarada*

| NOMBRE | MUNICIPIO |
|---------------|------------------|
| Las Delicias | Ciénega |
| El Morro | Viracachá |
| Cebadal | Ciénega |
| Del Plan | Ciénega |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.8 Hidrología

Es importante conocer y analizar el comportamiento de la oferta y demanda hídrica total en el macizo Mamapacha-Bijagual, con el fin de tomar decisiones que garantice una gestión integral del agua y así mismo se permita el acceso por parte de la comunidad a este vital recurso para sus diferentes usos. Para ello, se usó la información climatológica suministrada por el IDEAM e información de usuarios del recurso hídrico proporcionada por CORPOCHIVOR (Mapa 12).

2.8.1 Metodología.

La estimación de la oferta de hídrica de un área de trabajo cuando no se tiene información hidrológica o esta es escasa, se realiza mediante la elaboración de un balance hídrico superficial a partir de la información obtenida de una red de estaciones meteorológicas. Se interpolan y espacializan las variables precipitación, temperatura, ETR y se obtiene el producto escorrentía, el cual se relaciona con el área de trabajo para obtener un caudal.

2.8.1.1 Recopilación de información y selección del periodo de estudio.

Las estaciones pertenecientes al IDEAM, seleccionadas para el estudio de oferta hídrica superficial, son las que se encuentran dentro y fuera del área declarada del Macizo Mamapacha-Bijagual. Las estaciones se discriminan de la siguiente manera: tres estaciones climatológicas principales (CP), seis estaciones climatológicas ordinarias (CO), una estación agrometeorológica (AM), nueve pluviógrafos (PG) y dieciocho pluviómetros (PM).

Las variables de interés fueron la precipitación y temperatura. Para ello, se solicitó al IDEAM las series históricas de precipitación total mensual y temperatura media mensual. Se determinó para cada variable el porcentaje de información faltante por año para así determinar el periodo de estudio. Con base en ese porcentaje se determinó que el periodo comprendido entre los años 1992 a 2012 es el que menos información faltante posee para las dos variables utilizadas en el balance hídrico superficial.

2.8.1.2 Complementación de la información

La información climatológica solicitada al IDEAM presentó datos faltantes en su histórico aún en el periodo seleccionado, por lo que se resolvió completar dicha información teniendo en cuenta diferentes metodologías.

2.8.1.2.1 Precipitación

Se realizó el mismo cálculo que en la metodología empleada para la sección de CLIMA (2.1.1.2).

2.8.1.2.2 Temperatura

Para la estimación de datos mensuales faltantes de temperatura, se utilizó una regresión lineal simple (WMO, 2011) entre la estación incompleta y otra cercana para estimar los valores faltantes teniendo en cuenta condiciones topográficas y espaciales similares. Se obtuvo la regresión y la correlación (coeficiente de determinación) para posteriormente evaluar la bondad del ajuste lineal.

2.8.1.3 Selección de año seco, año húmedo y multianual

Se seleccionó como periodo seco el año de 1997 y como periodo húmedo el año de 2011 (Tabla 2.8-1), debido a que se presentaron valores extremos de precipitación total anual, situación que se verifica con la información de precipitación de la estación CO Villa Luisa (Tabla 2.8-2). Adicionalmente se tuvo en cuenta el promedio de todos los años registrados para hallar la escorrentía promedio anual multianual.

Tabla 2.8-1. Histórico de años ENSO

| El Niño | | | La Niña | | | Normal o NO ENSO | |
|---------|----------|---------|---------|----------|---------|------------------|---------|
| Débil | Moderado | Fuerte | Débil | Moderado | Fuerte | | |
| 1963-64 | 1951-52 | 1965-66 | 1954-55 | 1950-51 | 1955-56 | 1952-53 | 1953-54 |
| 1968-69 | 1957-58 | 1971-72 | 1956-57 | 1970-71 | 1973-74 | 1958-59 | 1959-60 |
| 1969-70 | 1977-78 | 1972-73 | 1962-63 | 1998-99 | 1975-76 | 1960-61 | 1961-62 |
| 1976-77 | 1984-85 | 1974-75 | 1964-65 | 2000-01 | 1988-89 | 1966-67 | 1978-79 |
| 1986-87 | 1987-88 | 1982-83 | 1967-68 | 2007-08 | 2010-11 | 1979-80 | 1980-81 |
| 1992-93 | 1994-95 | 1991-72 | | | | 1981-82 | 1983-84 |
| 1995-96 | 2002-03 | 1997-98 | | | | 1985-86 | 1989-90 |
| 1999-00 | 2009-10 | | | | | 1990-91 | 1993-94 |
| 2004-05 | | | | | | 1996-97 | 2001-02 |
| 2006-07 | | | | | | 2003-04 | 2005-06 |
| 2008-09 | | | | | | | |

Fuente: IDEAM 2015

Tabla 2.8-2. Precipitación total anual para el periodo de 1992-2012. Estación CO Villa Luisa

| Precipitación (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| MES/AÑO | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| ENE | 5,6 | 42,8 | 24,3 | 4,9 | 51,9 | 33,4 | 0,4 | 25,1 | 14,5 | 7 | 4 | 3,5 | 11,7 | 21,8 | 56,3 | 7 | 32,9 | 40,4 | 2,6 | 15,2 | 33,9 |
| FEB | 24,9 | 8,4 | 44,9 | 13,7 | 61,8 | 27,6 | 59,3 | 68,1 | 40,8 | 26,8 | 25 | 20,7 | 24,8 | 37,6 | 1,4 | 4,2 | 18,4 | 34,7 | 8,5 | 98,7 | 94,9 |
| MAR | 47,5 | 77,9 | 45,3 | 40,1 | 75,6 | 19,4 | 56 | 32,5 | 70,6 | 52,2 | 93,2 | 94,9 | 25,7 | 45,4 | 132,1 | 30,8 | 87,2 | 96,2 | 37,2 | 127,8 | 55,3 |
| ABR | 52,9 | 125,5 | 97,3 | 92,6 | 44,1 | 57,7 | 87,4 | 107,4 | 89,3 | 34 | 157,9 | 97,6 | 123,2 | 88 | 125,5 | 109 | 83,7 | 79,6 | 175,7 | 214,3 | 261,5 |
| MAY | 97,3 | 185,2 | 179,8 | 105,7 | 128,6 | 86,2 | 144,4 | 71,1 | 130,7 | 114,4 | 142,3 | 109,8 | 200,3 | 121,1 | 105,9 | 111,6 | 132,6 | 57,2 | 173,3 | 200,7 | 65,4 |
| JUN | 57,2 | 72 | 112,5 | 111,6 | 139,2 | 57,1 | 159,5 | 188,4 | 115,4 | 61,8 | 133,6 | 95,2 | 88 | 85,9 | 181,1 | 103,3 | 109,7 | 86,1 | 90,3 | 121,9 | 80 |
| JUL | 87,6 | 110,7 | 143,4 | 97,2 | 127,5 | 101,3 | 197,8 | 108,3 | 96,9 | 88,3 | 69,9 | 126,9 | 99,5 | 67,5 | 102,6 | 89,6 | 126 | 90,9 | 253,7 | 104 | 132,8 |
| AGO | 69,8 | 72,3 | 107,7 | 88,9 | 92,5 | 66,9 | 76,1 | 36 | 109,8 | 93,5 | 137,1 | 65,4 | 101 | 108,1 | 79,3 | 163,8 | 134 | 91,9 | 49,8 | 111,1 | 99,8 |
| SEP | 90,4 | 89,4 | 91,5 | 58,9 | 63,1 | 51,6 | 67,2 | 163,6 | 107,6 | 105,1 | 84,3 | 90,3 | 88 | 91,9 | 79 | 61,5 | 56,1 | 63 | 52,2 | 108,2 | 49,9 |
| OCT | 28,2 | 74,5 | 148,5 | 49,9 | 135 | 82,8 | 133,3 | 184,8 | 72,5 | 45,8 | 65,9 | 150,1 | 114,6 | 134,1 | 127,4 | 186,9 | 118,1 | 98,3 | 167,6 | 146,2 | 56,8 |
| NOV | 121,8 | 198,7 | 100,8 | 44,5 | 34,2 | 52,1 | 39,4 | 120 | 103 | 83,4 | 48,6 | 101,8 | 70,6 | 113,6 | 109,6 | 74,2 | 214,8 | 53,3 | 130,7 | 212 | 35,9 |
| DIC | 36,8 | 33,4 | 8 | 60,8 | 67,3 | 12,4 | 85,6 | 61,8 | 36,1 | 57,6 | 11,5 | 59 | 40 | 11,9 | 51 | 88 | 54,3 | 10,8 | 63,7 | 74,2 | 23,1 |
| TOTAL | 720 | 1090,8 | 1104 | 768,84 | 1020,8 | 648,5 | 1106,4 | 1167,1 | 987,2 | 769,9 | 973,3 | 1015,2 | 987,4 | 926,9 | 1151,2 | 1029,9 | 1167,8 | 802,4 | 1205,3 | 1534,3 | 989,24 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información del IDEAM

2.8.1.4 Determinación de oferta hídrica total superficial.

Se realizó un balance hídrico superficial para determinar la oferta hídrica total superficial en el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual según lo estipulado en la resolución 865 de 2004:

La estimación de la oferta hídrica para un espacio y periodo específico tiene como base el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico el cual determina la disponibilidad del agua en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía (MinAmbiente, 2004).

El cálculo de balance hídrico se realiza mediante la siguiente fórmula

$$P - \text{Esc (total)} - \text{ETR} \pm \Delta S \pm \Delta \text{er} = 0$$

Donde:

P: precipitación (mm)

Esc: escorrentía total (mm) (flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración)

ΔS : almacenamiento

Δer : termino residual de discrepancia

Al realizar un balance hídrico a largo plazo se tiene que los cambios en los volúmenes de agua almacenados en la atmósfera y los volúmenes de agua almacenados en el suelo, son despreciables. En consecuencia el flujo promedio en la atmósfera es igual al promedio de la escorrentía neta y son iguales a la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración real (MinAmbiente, 2004). Se obtiene entonces la siguiente ecuación:

$$\text{Esc} = P - \text{ETR} \text{ Ecuación 1}$$

La escorrentía finalmente representará nuestra oferta hídrica superficial total.

La evapotranspiración real (ETR) se calculó usando la ecuación 2, la cual calcula directamente la evapotranspiración real teniendo en cuenta la temperatura y la precipitación. Este es un método de cálculo aproximado y además de fácil aplicación, puesto que no requiere variables difíciles de medir, cuya expresión es la siguiente (MinAmbiente, 2004):

$$\text{ETR} = \left(0.9 \frac{P^2}{(LT^2)}\right) \text{ Ecuación 2}$$

En donde:

ETR = Evapotranspiración Real media anual (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

$L(t) = \text{Parámetro heliotérmico expresado así: } 300 + 25T + 0.05 T^2$

T = Temperatura media anual (°C)

Conociendo esta base teórica, se realizó una espacialización de las variables precipitación media anual y temperatura media anual usando el método de interpolación Inverse Distance Weighted (IDW) del software gvSIG (2010). Una vez generadas las capas de isoclinas e isotermas, se siguió la fórmula de balance hídrico superficial, para determinar las isoclinas de evotranspiración potencial (ETP) y escurrentía. El ejercicio, se realizó para determinar la oferta hídrica superficial tanto para año seco, húmedo y el promedio anual multianual. Para el caso del complejo de páramo Mamapacha-Bijagual se considerará la oferta hídrica total disponible (OHTD) como la reducción del 25% de la oferta hídrica superficial total (OHTS), de acuerdo a la información disponible y generada en el balance hídrico, por ser entre otras cosas un ecosistema estratégico y de vital importancia dentro del ciclo hidrológico del agua

2.8.2 Resultados.

2.8.2.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS) y oferta hídrica total disponible por microcuenca para año húmedo (OHTD).

Al realizar el cálculo del balance hídrico superficial se obtuvo la escurrentía, siendo esta la lámina de agua lluvia que no se evapotranspiró y escurre por los suelos superficialmente, la cual es tomada en metros y se relaciona con el área de cada microcuenca (m²). La OHTD es obtenida después de haber extraído el caudal ambiental de la OHTS. En la Tabla 2.8-3 se presentan los resultados obtenidos para cada microcuenca en año húmedo.

La OHTS para año húmedo en toda el área declarada como área protegida es de 22.14 m³/s, mientras que la OHTD es 16.6 m³/s.

En cuanto a microcuencas, quien tiene mayor aporte hídrico en el área declarada es la microcuenca Río Cienegano con 2.20 m³/s y representando el 10% de aporte hídrico total. Esta se encuentra ubicada en jurisdicción del municipio de Garagoa y es la de mayor extensión dentro del área. Por otra parte, la microcuenca que menor aporte hídrico tiene es Quebrada Calle Real con un valor de 0.15 m³/s y 0.11% de aporte hídrico total, ésta se ubica en jurisdicción del municipio de Ramiriquí. En promedio, las microcuencas tienen un aporte hídrico 0.63 m³/s y sus aguas drenan al río Garagoa donde finalmente llegan al embalse La Esmeralda.

Tabla 2.8-3. OHTS y OHTD para año húmedo

| <i>Microcuenca</i> | <i>OHTS</i> (m ³ /s) | <i>OHTD</i> (m ³ /s) | <i>Microcuenca</i> | <i>OHTS</i> (m ³ /s) | <i>OHTD</i> (m ³ /s) |
|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Quebrada Agua Regada | 0,53 | 0,4 | Quebrada Las Quinchas | 0,35 | 0,26 |
| Quebrada Baganique | 0,48 | 0,36 | Quebrada Montejos | 0,45 | 0,34 |

| <i>Microcuena</i> | <i>OHTS (m³/s)</i> | <i>OHTD (m³/s)</i> | <i>Microcuena</i> | <i>OHTS (m³/s)</i> | <i>OHTD (m³/s)</i> |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Quebrada Bolívar | 0,41 | 0,31 | Quebrada Quenquenera | 0,39 | 0,29 |
| Quebrada Calle Real | 0,15 | 0,11 | Quebrada Quichatoque | 0,62 | 0,46 |
| Quebrada Cardonal | 0,9 | 0,68 | Quebrada Quigua | 1,19 | 0,89 |
| Quebrada Chorro Seca | 0,41 | 0,31 | Quebrada Reavita | 0,19 | 0,15 |
| Quebrada Colorada | 0,38 | 0,29 | Quebrada Ruche y Chiguata | 0,88 | 0,66 |
| Quebrada Colorada | 0,27 | 0,2 | Quebrada Salamanca | 1,2 | 0,9 |
| Quebrada Colorada | 0,36 | 0,27 | Quebrada San Vicente | 0,31 | 0,24 |
| Quebrada Delicias | 0,25 | 0,19 | Quebrada Sicha | 1,47 | 1,1 |
| Quebrada El Cebadal | 0,8 | 0,6 | Quebrada Suta | 0,25 | 0,19 |
| Quebrada El Guamo | 0,32 | 0,24 | Quebrada Tasajeras | 1,03 | 0,77 |
| Quebrada El Oso | 0,52 | 0,39 | Quebrada Tres Quebradas | 0,36 | 0,27 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 0,77 | 0,58 | Quebrada Única | 1,29 | 0,97 |
| Quebrada Hundida | 0,86 | 0,64 | Rio Cienegano | 2,2 | 1,65 |
| Quebrada La Isla | 0,32 | 0,24 | Rio Negro | 0,31 | 0,23 |
| Quebrada La Miel | 0,8 | 0,6 | Rio Tunjita Sector Alto | 0,16 | 0,12 |
| Quebrada Las Moyas | 0,95 | 0,71 | TOTAL | 22,14 | 16,6 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.8.2.2 Oferta hídrica total superficial (OTS) y oferta hídrica total disponible (OHTD) por microcuena para año seco.

Los resultados obtenidos de oferta hídrica para año seco se presentan en la Tabla 2.8-4.

La OHTS para año seco en toda el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual es de 9.47 m³/s, mientras que la OHTD es 7.10 m³/s. La reducción de ofertas hídricas con respecto a la de año húmedo es de más de la mitad, pues para el año húmedo la OHTS presentó un valor de 22.14 m³/s y se redujo a 9.47 m³/s y en cuanto a la OHTD se redujo de 16.6 m³/s a 7.10 m³/s.

La microcuena Río Cienegano sigue siendo la que mayor aporte hídrico presenta con un valor de 0.93 m³/s, seguido por la microcuena Quebrada Sicha con 0.70 m³/s, mientras que la microcuena de menor aporte para año

seco es Río Tunjita Sector Alto, ubicada en jurisdicción del municipio de Garagoa, con un valor de 0.06 m³/s, seguida por la microcuenca Quebrada Reavita, situada en jurisdicción del municipio de Ciénega, con 0.07 m³/s. En promedio cada microcuenca aporta un caudal de 0.27 m³/s.

Tabla 2.8-4. OHTS y OHTD para año seco

| <i>Microcuenca</i> | <i>OHTS (m³/s)</i> | <i>OHTD (m³/s)</i> | <i>Microcuenca</i> | <i>OHTS (m³/s)</i> | <i>OHTD (m³/s)</i> |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Quebrada Agua Regada | 0,18 | 0,13 | Quebrada Las Quinchas | 0,18 | 0,13 |
| Quebrada Baganique | 0,17 | 0,13 | Quebrada Montejos | 0,21 | 0,16 |
| Quebrada Bolívar | 0,21 | 0,16 | Quebrada Quenquenera | 0,20 | 0,15 |
| Quebrada Calle Real | 0,07 | 0,06 | Quebrada Quichatoque | 0,28 | 0,21 |
| Quebrada Cardonal | 0,36 | 0,27 | Quebrada Quigua | 0,49 | 0,37 |
| Quebrada Chorro Seca | 0,21 | 0,16 | Quebrada Reavita | 0,07 | 0,05 |
| Quebrada Colorada | 0,19 | 0,15 | Q. Ruche y Chiguata | 0,30 | 0,22 |
| Quebrada Colorada | 0,10 | 0,07 | Quebrada Salamanca | 0,58 | 0,43 |
| Quebrada Colorada | 0,13 | 0,10 | Quebrada San Vicente | 0,11 | 0,08 |
| Quebrada Delicias | 0,09 | 0,07 | Quebrada Sicha | 0,70 | 0,53 |
| Quebrada El Cebadal | 0,28 | 0,21 | Quebrada Suta | 0,08 | 0,06 |
| Quebrada El Guamo | 0,11 | 0,08 | Quebrada Tasajeras | 0,46 | 0,34 |
| Quebrada El Oso | 0,27 | 0,20 | Quebrada Tres Quebradas | 0,18 | 0,14 |
| Q. Honda, Q Chuscal y Q Ruma | 0,26 | 0,20 | Quebrada Única | 0,48 | 0,36 |
| Quebrada Hundida | 0,41 | 0,31 | Río Cienegano | 0,93 | 0,70 |
| Quebrada La Isla | 0,11 | 0,08 | Río Negro | 0,15 | 0,11 |
| Quebrada La Miel | 0,40 | 0,30 | Río Tunjita Sector Alto | 0,06 | 0,05 |
| Quebrada Las Moyas | 0,44 | 0,33 | TOTAL | 9,47 | 7,10 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.8.2.3 Oferta hídrica total superficial (OTS) y oferta hídrica total disponible (OHTD) por microcuenca multianual.

Los resultados obtenidos de oferta hídrica promedio anual multianual se presentan en la *Tabla 2.8-5*.

La OHTS multianual en toda el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual es de 14.71 m³/s, mientras que la OHTD es 11.03 m³/s. La microcuenca Río Cienegano sigue siendo la que mayor aporte hídrico presenta con un valor de 2,06 m³/s, seguido por la microcuenca Quebrada Sicha con 1.01 m³/s, mientras que la microcuenca de menor aporte es Río Tunjita Sector Alto, ubicada en jurisdicción del municipio de Garagoa, con un valor de 0.18

m³/s, seguida por la microcuena Quebrada Reavita, situada en jurisdicción del municipio de Ciénega, con 0.12 m³/s. En promedio cada microcuena aporta un caudal de 0.42 m³/s.

Tabla 2.8-5 OHTS y OHTD promedio anual multianual

| Microcuena | OHTS (m3/s) | OHTD (m3/s) | Microcuena | OHTS (m3/s) | OHTD (m3/s) |
|------------------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Q. Agua Regada | 0,26 | 0,19 | Q. Las Quinchas | 0,23 | 0,17 |
| Q. Baganique | 0,26 | 0,20 | Q. Montejos | 0,36 | 0,27 |
| Q. Bolivar | 0,26 | 0,20 | Q. Quenquenera | 0,26 | 0,20 |
| Q. Calle Real | 0,11 | 0,08 | Q. Quichatoque | 0,34 | 0,25 |
| Q. Cardonal | 0,45 | 0,34 | Q. Quigua | 1,05 | 0,79 |
| Q. Chorro Seca | 0,25 | 0,19 | Q. Reavita | 0,12 | 0,09 |
| Q. Colorada | 0,25 | 0,19 | Q. Ruche y Chiguata | 0,45 | 0,34 |
| Q. Colorada | 0,15 | 0,11 | Q. Salamanca | 0,83 | 0,62 |
| Q. Colorada | 0,20 | 0,15 | Q. San Vicente | 0,20 | 0,15 |
| Q. Delicias | 0,15 | 0,11 | Q. Sicha | 1,01 | 0,75 |
| Q. El Cebadal | 0,45 | 0,34 | Q. Suta | 0,14 | 0,10 |
| Q. El Guamo | 0,20 | 0,15 | Q. Tasajeras | 0,64 | 0,48 |
| Q. El Oso | 0,35 | 0,26 | Q. Tres Quebradas | 0,21 | 0,15 |
| Q. Honda Chuscal y Rum | 0,30 | 0,23 | Q. Única | 0,72 | 0,54 |
| Q. Hundida | 0,55 | 0,41 | Rio Cienegano | 2,06 | 1,54 |
| Q. La Isla | 0,20 | 0,15 | Rio Negro | 0,22 | 0,17 |
| Q. La Miel | 0,56 | 0,42 | Rio Tunjita Sector Alto | 0,18 | 0,14 |
| Q. Las Moyas | 0,74 | 0,56 | Total | 14,71 | 11,03 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015 con base en información SIAT CORPOCHIVOR

2.9 Suelos

2.9.1 Metodología.

2.9.1.1 Clasificación taxonómica.

Con base en la información cartográfica de SIAT-CORPOCHIVOR 2015, se identificaron las unidades cartográficas de suelos presentes en el área del DRMI páramo de Mamapacha y Bijagual, una vez identificadas las unidades se clasificaron teniendo en cuenta la taxonomía de suelos descrita por Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2005)

2.9.1.2 Descripción de suelo.

Con el fin de caracterizar las propiedades de los suelos se realizaron descripciones generales de las unidades cartográficas de suelos encontradas en el área protegida, para ello se utilizó la información de Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2005).

2.9.1.3 Características estructurales.

Las características estructurales de las unidades cartográficas de suelos identificadas se realizó teniendo en cuenta información consignada en Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2005).

2.9.1.4 Análisis de muestras de suelo.

2.9.1.4.1 Sitio de muestreo

Dados los alcances del presente documento y el tipo de análisis que se realiza en el laboratorio de suelos de CORPOCHIVOR, se definió un tipo de muestreo simple, considerado representativo cuando la composición de los contaminantes en un suelo es estable, es decir, no varía con el tiempo. (INE, 2007).

En la Tabla 2.9-1 se presentan los sitios de muestreo; municipio, vereda, uso actual y las coordenadas correspondientes. La ubicación del sitio de muestreo se determinó teniendo en cuenta tres variables. La primera fue cubrir el mayor número de unidades cartográficas posibles, la segunda que el muestreo fuera realizado dentro del área protegida y la tercera el tipo de cobertura presente. En la definición puntual de la muestra se tuvo en cuenta la combinación de las anteriores variables, por tal motivo puede encontrarse la misma cobertura en varios tipos de suelo y viceversa.

Tabla 2.9-1 *Sitios de muestreo de suelo*

| Código. | Municipio | Vereda | Unid. Cartog. | Cobertura | Norte (grados/min/seg) | Este (grados/min/seg) | Altitud (msnm) |
|----------------|------------------|------------------|----------------------|--|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| IS003 | Chinavita | Usillo | MLEg | Bosque fragmentado con pastos y cultivos | 5 14 28 | 73 23 50 | 2094 |
| IS008 | Chinavita | Usillo | MPEf | Bosque fragmentado con pastos y cultivos | 5 14 33 | 73 23 49 | 2049 |
| IS010 | Chinavita | Valle | MEEg | Herbazal denso de tierra firme | 5 12 50 | 73 19 32 | 2298 |
| IS019 | Chinavita | Valle | MEEg | Herbazal denso de tierra firme | 5 12 15 | 73 17 47 | 2260 |
| IS020 | Ciénega | Cebada | MGEf | Mosaico de pastos con espacios naturales | 5 21 29 | 73 16 34 | 3017 |
| IS012 | Ciénega | Reavita | MKEg | Arbustal denso | 5 22 04 | 73 16 17 | 2991 |
| IS013 | Garagoa | Ciénega Guarumal | MKVd | Bosque denso alto de tierra firme | 5 05 37 | 73 17 36 | 2413 |
| IS001 | Garagoa | Ciénega | MKVd | Bosque denso alto de | 5 07 22 | 73 17 18 | 2253 |

| Código. | Municipio | Vereda | Unid. Cartog. | Cobertura | Norte (grados/min/seg) | Este (grados/min/seg) | Altitud (msnm) |
|---------|-----------|--------------|---------------|--|------------------------|-----------------------|----------------|
| | | Valvanera | | tierra firme | | | |
| IS002 | Garagoa | Senda arriba | MKVe | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 5 08 44 | 73 18 49 | 2063 |
| IS006 | Ramiriquí | Farquenta | MGEf | Pastos limpios | 5 19 45 | 73 17 51 | 2998 |
| IS004 | Ramiriquí | Guayabal | MLVe1 | Pastos limpios | 5 16 47 | 73 20 48 | 2972 |
| IS005 | Ramiriquí | Guayabal | MKHa | Bosque denso alto de tierra firme | 5 15 35 | 73 18 02 | 2389 |
| IS007 | Ramiriquí | Guayabal | MKEf | Bosque denso alto de tierra firme | 5 14 42 | 73 18 48 | 2126 |
| IS011 | Ramiriquí | Ortigal | MKVe | Mosaico de pastos y cultivos | 5 18 37 | 73 19 30 | 2821 |
| IS009 | Tibaná | Chiguata | MLVd1 | Vegetación secundaria o en transición | 5 16 35 | 73 22 23 | 2201 |
| IS014 | Viracachá | Caros | MGEf | Mosaico de pastos y cultivos | 5 26 14 | 73 14 03 | 3216 |
| IS015 | Viracachá | Chen | MMXe1 | Mosaico de pastos y cultivos | 5 27 25 | 73 15 57 | 3059 |
| IS016 | Viracachá | La Isla | MKVe | Mosaico de pastos y cultivos | 5 24 46 | 73 15 06 | 2924 |
| IS017 | Viracachá | Pueblo Viejo | MHEf | Herbazal denso de tierra firme | 5 27 27 | 73 14 40 | 3268 |
| IS018 | Viracachá | Pueblo Viejo | MLEg | Mosaico de pastos y cultivos | 5 27 14 | 73 15 17 | 3138 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.1.4.2 Muestreo

La metodología que se utilizó estuvo de acuerdo a los protocolos establecidos por CORPOCHIVOR. Dicho procedimiento es el siguiente:

- En cada sitio de muestreo remover las plantas y hojarasca fresca (1-3 cm) de un área de 40 cm x 40 cm.
- Introducir el barreno o pala a la profundidad deseada.
- Recolectar la tierra del perfil de suelo.
- Colocar la muestra en un balde o bolsa grande.
- Revolver hasta obtener uniformidad en el material.
- Recoger en la bolsa ziploc la muestra hasta obtener un peso final de aproximadamente 1 Kg por muestra y luego rotular.
- Lavar y secar las herramientas utilizadas en cada muestreo.

El tipo de análisis que se llevó a cabo es el denominado “ambiental”, el cual mide: Humedad, pH, Temperatura, Nitrógeno total, Fosforo total, Potasio total, Boro total, Hierro total, Cadmio total, Solidos disueltos, pH, Salinidad, Conductividad eléctrica, Amonio total, Nitratos totales y Sulfatos totales.

2.9.1.4.3 Análisis de resultados.

Para determinar si hay una diferencia significativa entre los resultados obtenidos y los sitios de muestreo, se agruparon los puntos teniendo en cuenta las coberturas en grupos de zonas intervenidas (Ant), Zonas de bosque (Bosq) y zonas de páramo (Páramo). Posteriormente se realizó el análisis multivariante de clasificación por mapa de calor para determinar si existía algún tipo de agrupación y las variables que los explican.

2.9.2 Resultados.

2.9.2.1 Clasificación taxonómica de los suelos

Las unidades cartográficas de suelos que se identifican dentro del área declarada, se presentan en la Tabla 2.9-2 (Mapa 9). De las 10 unidades cartográficas encontradas la de mayor área cubierta es la MKE, llamada Complejo Lithic Udorthents – Typic Dystrudepts – Afloramientos Rocosos.

Tabla 2.9-2 Unidades cartográficas presentes en el área declarada como DRMI Mamapacha – Bijagual.

| Unidad Cartográfica | Área declarada |
|----------------------------|-----------------------|
| AMVd1 | 73,80 |
| MEEg | 2285,31 |
| MGEf | 1962,10 |
| MHEf | 182,84 |
| MKEf | 3230,93 |
| MKEg | 8078,51 |
| MKHa | 247,45 |
| MKVd | 1350,02 |
| MKVe | 4516,43 |
| MLEf | 271,16 |
| MLEg | 2460,33 |
| MLVd1 | 218,26 |
| MLVe1 | 202,67 |
| MMXe1 | 224,41 |
| MPEf | 15,96 |

| Unidad Cartográfica | Área declarada |
|----------------------------|-----------------------|
| MPXep | 251,96 |
| Total | 25572,89 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015.

Dentro de esta misma área se encuentran presentes suelos del orden de los Inceptisoles, Histosoles, Entisoles, Alfisoles y Andisoles, formando dichas unidades cartográficas. El orden de suelos con mayor presencia dentro de ésta es el de los Inceptisoles, seguido por los Entisoles. En la Tabla 2.9-3 se muestra la clasificación taxonómica de los suelos encontrados dentro de dicha área hasta el nivel de subgrupo los cuales se encuentran formando los complejos y asociaciones de suelos ya mencionados.

Tabla 2.9-3 *Clasificación taxonómica de los suelos en el DRMI*

| Orden | Suborden | Gran Grupo | Subgrupo | Unidad Cartográfica |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|
| Inceptisoles | Udeps | Dystrudepts | Oxic Dystrudepts | MHE |
| | | Dystrudepts | Humic Lithic Dystrudepts | MGE |
| | | Dystrudepts | Typic Dystrudepts | MKE, MLE, MKV, MLE |
| | | Dystrudepts | Humic Dystrudepts | MLV |
| | | Dystrudepts | Andic Dystrudepts | MLV, MKV |
| | | Dystrudepts | Lithic Dystrudepts | MPE |
| Histosoles | Hemists | Haplohemists | Typic Haplohemists | MEE |
| Entisoles | Orthents | Udorthents | Lithic Udorthents | MHE, MKE, MLE |
| | Fluents | Udifluents | Typic Udifluents | MKH |
| Alfisoles | Ustalfs | Haplustalfs | Typic Haplustalfs | MMX |
| Andisoles | Udands | Fulvudands | Pachic Fulvudands | MLV |
| | Udands | Hapludands | Typic Hapludands | MKV |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015.

2.9.2.2 Descripción suelos

2.9.2.2.1 Oxic Dystrudepts - MHE

Se localizan de preferencia en los taludes de derrubio de los crestones y presenta un perfil tipo A - C. El horizonte A tiene color pardo oscuro, textura franco arcillo arenosa y estructura en bloques, moderada; el horizonte C es

pardo rojizo con abundantes manchas blancas y su textura es arcillosa. Son suelos 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.

Las fuertes pendientes, las bajas temperaturas (heladas), el contenido alto de aluminio y la baja fertilidad ubican estos suelos en la clase agrológica VIII por su capacidad de uso. Se deben mantener con la vegetación nativa. Se pueden desarrollar programas forestales donde ha sido talada la vegetación, utilizando variedades nativas e introducidas, para los sectores donde se encuentran los suelos con mayor espesor (más de 50 cm).

En esta unidad cartográfica se delimitó la fase:

MHEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

2.9.2.2.2 *Humic Lithic Dystrudepts - MGE*

Se encuentran en las laderas inferiores del relieve de crestones, caracterizados por un perfil de nomenclatura A - B - C - R. El horizonte A presenta espesor de 22 cm, color pardo grisáceo muy oscuro y textura arcillosa; el horizonte B es de color pardo amarillento oscuro y la textura es arcillosa gravilosa; el C es de color pardo grisáceo oscuro con manchas rojas y textura arcillosa gravilosa; el horizonte R corresponde a roca de lutita. Son suelos muy superficiales limitados por altos contenidos de aluminio, bien drenados; tienen reacción química muy fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico moderada y la saturación de aluminio de cambio a partir de los 22 cm de profundidad mayor del 70%. La fertilidad natural es baja.

Las fuertes pendientes, la susceptibilidad a la erosión y la presencia de fragmentos de roca en superficie por sectores, permiten ubicar los suelos en la clase VII por capacidad de uso. Se deben establecer sistemas silvopastoriles, en donde se combinen las actividades forestales con una ganadería de tipo extensivo.

Se delimitaron las fases:

MGEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

2.9.2.2.3 *Typic Dystrudepts - MKE, MLE, MK y MLE*

Se caracteriza por un perfil de nomenclatura A - B - C. El horizonte A tiene 15 cm de espesor, color pardo grisáceo muy oscuro con textura franco arcillo arenosa; el horizonte B es de color pardo oscuro y la textura similar a la anterior; el horizonte C corresponde a capas de cantos redondeados, gravilla y cascajo. Son suelos superficiales y bien drenados; tienen reacción química muy fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico moderada, contenidos de calcio y magnesio altos y fertilidad natural moderada.

La presencia de fragmentos de roca en superficie y la poca profundidad efectiva de los suelos, permiten clasificar los suelos en la clase IV por capacidad de uso, no se debe permitir el sobrepastoreo intenso.

En esta unidad cartográfica se delimitaron las siguientes fases:

MKEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MKEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

MLEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MLEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

MLEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MLEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

2.9.2.2.4 Humic Dystrudepts - MLV

Se encuentran en las laderas fuertemente inclinadas de los relieves de crestones y se caracterizan por un perfil de nomenclatura A - B - C. El horizonte A con 60 cm de espesor, color negro y pardo grisáceo muy oscuro, textura franco arcillo arenosa; el horizonte B es de color pardo fuerte con manchas rojo amarillentas y textura franco arcillo arenosa; el C con colores amarillo, amarillo pálido y rojo amarillento con textura franco arcillo arenosa. Son suelos muy superficiales limitados por contenidos de aluminio altos, bien drenados, de reacción química fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico moderada a alta y saturación de aluminio intercambiable mayor del 90% en el horizonte A y B. La fertilidad natural es baja.

2.9.2.2.5 Andic Dystrudepts - MLV y MKV

Se encuentran en las laderas erosiónales de los relieves de crestones y se representan por un perfil de nomenclatura A - B - BC. El horizonte A tiene 50 cm de espesor, color negro, textura franco arenosa con estructura en bloques débiles; el horizonte B es de color pardo rojizo oscuro y textura franco arenosa; el BC es de color rojo amarillento y textura franco arcillo arenosa. Son suelos muy superficiales, bien drenados; tienen reacción química fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico alta a muy alta antes de los 70 cm de profundidad y saturación de aluminio intercambiable mayor de 70% en el horizonte A. La fertilidad natural es baja.

En esta unidad se delimitaron las fases:

MKVd: fase topográfica fuertemente inclinada

MKVe: fase topográfica fuertemente quebrada

2.9.2.2.6 Lithic Dystrudepts - MPE

Se localizan en las laderas intermedias de los relieves escarpados, caracterizados por presentar perfil de nomenclatura A - B - Cr. El horizonte A tiene un espesor de 12 cm, color pardo a pardo oscuro y textura franca; el horizonte B es de color pardo grisáceo y pardo amarillento, textura franca; el

horizonte Cr, corresponde a roca lutita en proceso de meteorización, de color gris claro y pardo amarillento y textura franco arcillo limosa gravilosa. Son suelos muy superficiales y bien drenados, químicamente tienen reacción muy fuerte a fuertemente ácida, la saturación de bases es moderada a baja y la saturación de aluminio de cambio es mayor del 60%. La fertilidad natural es baja.

En esta unidad cartográfica se delimitaron las siguientes fases:

MPEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MPEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

2.9.2.2.7 Typic Haplohemists - MEE

Se localizan en áreas depresionales; evolucionados a partir de material orgánico, se caracterizan por presentar un perfil de nomenclatura Oa - Oe - Cg. El horizonte Oa es de color pardo muy oscuro, orgánico; el Oe, es de color negro, orgánico; el horizonte Cg que se presenta después de los 130 cm de profundidad es de color negro y de textura franco arenosa. Son suelos muy superficiales con un drenaje de tipo pantanoso; químicamente tienen reacción extremadamente ácida a muy fuertemente ácida, 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.

Se delimitó la fase: MEEg: fase fuertemente escarpada.

2.9.2.2.8 Lithic Udorthents – MHE, MKE y MLE

Se caracterizan por estar en las áreas de mayor pendiente en donde es común encontrar en la 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.

En esta unidad cartográfica se delimito la fase:

MHEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MKEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MKEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

MLEf: fase topográfica moderadamente escarpada.

MLEg: fase topográfica fuertemente escarpada.

2.9.2.2.9 *Typic Udifluvents - MKH*

Se caracterizan por presentar un perfil con nomenclatura A - C. El horizonte A tiene 30 cm de espesor, color pardo oscuro y textura franca; el horizonte C es una capa de cantos redondeados de diámetro menor de 10 cm y la matriz fina es arenosa franca. Son suelos moderadamente profundos y bien drenados; tienen reacción fuertemente ácida, capacidad de intercambio catiónico moderada y saturación de aluminio de intercambiable mayor del 70%. Su fertilidad natural es muy baja.

2.9.2.2.10 *Typic Haplustalfs - MMX*

Se localizan en relieves de lomas, presentando un perfil de nomenclatura A - B - C. El horizonte A tiene un espesor de 40 cm, color pardo oscuro, textura franco arenosa; el B es de color pardo amarillento y pardo amarillento oscuro, textura franco arcillo arenosa; el horizonte C es pardo amarillento y rojo, de textura franco arcillo arenosa. Son suelos superficiales limitados por niveles tóxicos de aluminio, bien drenados; la reacción es muy fuerte a fuertemente ácida; la capacidad de intercambio catiónico es baja; la saturación de aluminio de intercambiable es mayor de 60% a una profundidad entre los 40 y los 70 cm. La fertilidad natural es baja.

En esta unidad cartográfica se delimitó la siguiente fase:

MMXe1: fase topográfica fuertemente quebrada y erosión ligera.

2.9.2.2.11 *Pachic Fulvudands - MLV*

Se localizan en el relieve de glacis y de preferencia en los bancos. Su perfil es de tipo A - B - C. El horizonte A tiene un espesor de 48 cm, color negro, textura franco arenosa y estructura en bloques subangulares moderados; el B es de color pardo grisáceo muy oscuro y pardo amarillento, texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa y arcillosa; el horizonte C, es pardo con manchas rojo amarillentas y textura arcillosa. Son suelos muy profundos y bien drenados; su reacción es fuerte a ligeramente ácida; la capacidad de intercambio catiónico es muy alta y la saturación de bases es baja. La fertilidad natural es moderada.

En esta unidad cartográfica se definieron las siguientes fases:

MLVd1: fase topográfica moderadamente quebrada con erosión ligera.

MLVe1: fase topográfica fuertemente quebrada con erosión ligera.

2.9.2.2.12 *Typic Hapludands - MKV*

Se ubican en los relieves de glacis y tienen un perfil de nomenclatura A - B - C. El horizonte A presenta 30 cm de espesor, color gris muy oscuro y pardo grisáceo muy oscuro, texturas franco arenosa gravilosa y franca gravilosa y estructura en bloques subangulares moderados; el B es de color pardo

amarillento con manchas amarillo parduscas con textura franca gravillosa; el C es de color amarillo pardusco y textura franco arcillosa gravillosa. Son suelos moderadamente profundos y bien drenados; tienen reacción química fuerte a moderadamente ácida, capacidad de intercambio catiónico muy alta a alta y saturación de bases baja a muy baja. La fertilidad natural es moderada.

En esta unidad se delimitaron las fases:

MKVd: fase topográfica fuertemente inclinada

MKVe: fase topográfica fuertemente quebrada

2.9.2.3 Características estructurales

En la Tabla 2.9-4 se muestran las características estructurales y químicas de los suelos del área declarada, formando las 10 unidades cartográficas presentes existen 12 subgrupos de suelos los cuales en su mayoría son de textura franca en algunos casos franco arcillosos y en otros franco arenosos en los horizontes A y B. Todos son suelos superficiales con reacción química entre ligeramente ácida y fuertemente ácida, alto contenido de aluminio y capacidad de intercambio catiónico – CIC entre moderada y muy alta. La fertilidad en general de los suelos presentes en el área de la declaratoria es baja; 3 de estos suelos tienen fertilidad moderada.

Tabla 2.9-4 Características estructurales y químicas de los suelos del área protegida.

| Subgrupo | Horizontes | | | | Profundidad | Reacción | Aluminio | Fertilidad | CIC |
|--------------------------|------------|------|------|--------|-------------|--------------------------|----------|------------|----------|
| | A | B | BC | C | | | | | |
| Oxic Dystrudepts | FArA | | | Ar | Superficial | Fuertemente ácida | | Baja | |
| Humic Lithic Dystrudepts | Ar | ArG | | ArG | Superficial | Muy fuertemente ácida | Alto | Baja | Moderada |
| Typic Dystrudepts | FArA | FArA | | Cantos | Superficial | Muy fuertemente ácida | | Moderada | Moderada |
| Humic Dystrudepts | FArA | FArA | | FArA | Superficial | Fuertemente ácida | Alto | Baja | Alta |
| Andic Dystrudepts | FA | FA | FAAr | | Superficial | Fuertemente ácida | Alto | Baja | Muy alta |
| Lithic Dystrudepts | F | F | | FArL | Superficial | Muy fuertemente ácida | Media | Baja | |
| Typic Haplohemists | Oa | Oe | | FA | Superficial | Extremadamente ácida | | Baja | Alta |
| Lithic Udorthents | FL | | | | Superficial | Extremadamente ácida | Alto | Baja | Baja |
| Typic Udifluvents | F | | | FA | Moderada | Fuertemente ácida | Alto | Baja | Moderada |
| Typic Haplustalfs | FA | FArA | | FArA | Superficial | Muy fuertemente ácida | Alto | Baja | Baja |
| Pachic Fulvudands | FA | FA | | Ar | Profundos | Ligeramente ácida | | Moderada | Muy alta |
| Typic Hapludands | FA | FG | | FArG | Profundos | Moderadamente ácida | | Moderada | Muy alta |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015.

2.9.2.4 Análisis de las muestras de suelos.

En la Tabla 2.9-5 muestran los resultados de los análisis de suelos del área de la declaratoria, se analizaron parámetros como Humedad de la muestra, Solidos disueltos, pH, Salinidad, Conductividad eléctrica, Amonio total, Boro total, Nitratos totales y Sulfatos totales.

2.9.2.4.1 Humedad

En total se evaluaron veinte muestras de suelo de las cuales únicamente seis presentan porcentaje de humedad por encima del 60%. Es de resaltar que las muestras ISO11 e ISO14 que tienen una humedad por encima del 100% pertenecen a zonas por encima de los 2800 msnm (*Figura 2.9-1*, Tabla 2.9-5).

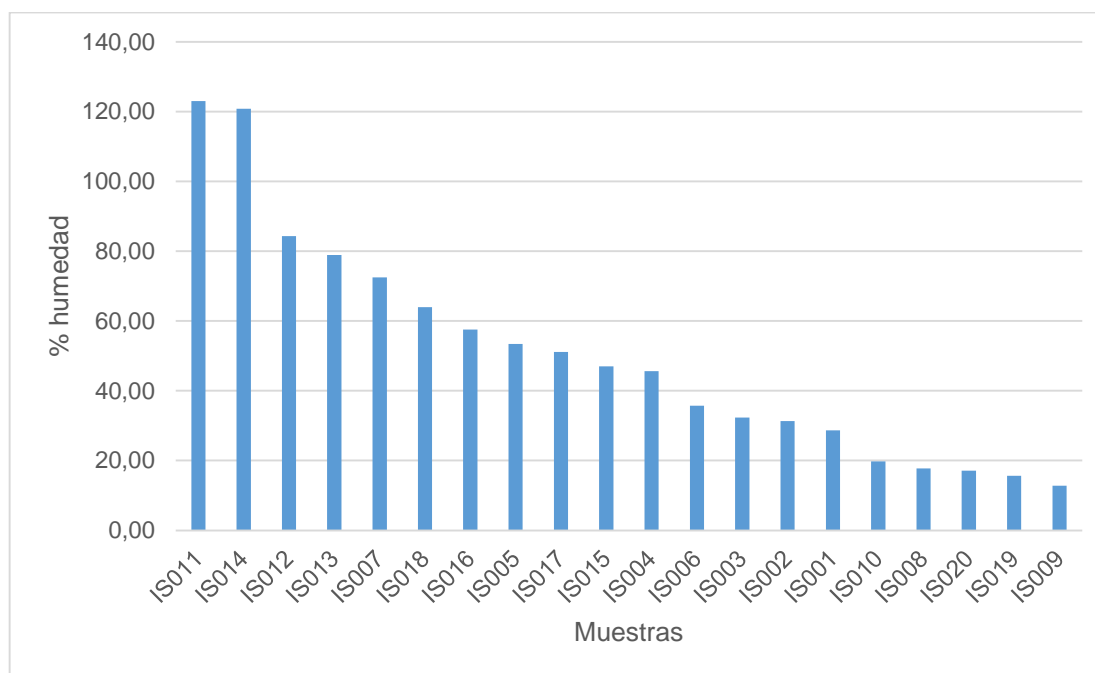


Figura 2.9-1. Porcentaje de humedad de las muestras de suelo

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.2 El pH

Se encontró que el pH en general es de tendencia ácida, variando entre 4,08 y 5,95. El menor valor de pH se presentó en la muestra ISO01, que pertenece a una cobertura de bosque denso a una altura de 2253 msnm. El máximo valor de pH se encontró en la muestra ISO20 que posee una cobertura de pastos a una altura de 2049 msnm (*Figura 2.9-2*).

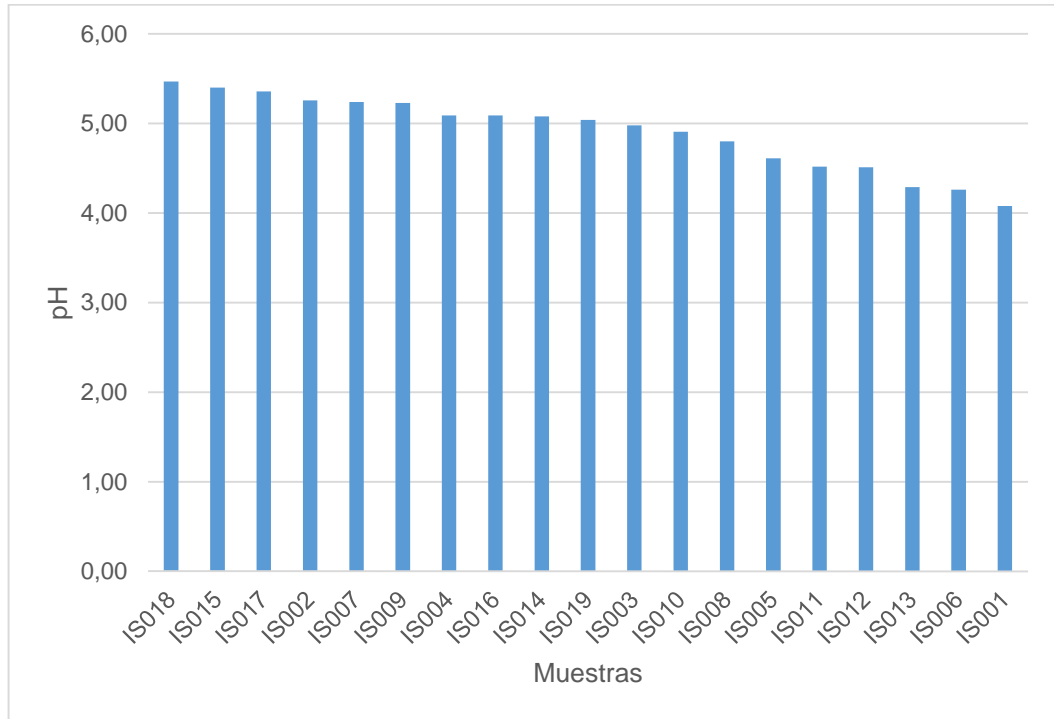


Figura 2.9-2. El pH de las muestras de suelos.
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Tabla 2.9-5 Resultados de los análisis de suelos

| Código | Altura (m) | Humedad (%) | Solidos disueltos (ppm) | pH | Conduct. (µS/cm) | Salinidad (ppm) | Amonio (mg/Kg) | Boro (mg/Kg) | Nitratos (mg/Kg) | Sulfatos (mg/Kg) | Pendiente ° |
|--------|------------|-------------|-------------------------|------|------------------|-----------------|----------------|--------------|------------------|------------------|-------------|
| IS003 | 3260 | 32.34 | 39.60 | 4.98 | 19.77 | 0.02 | 0.01 | 0.63 | 12.35 | 0 | 5.767 |
| IS001 | 2253 | 28.68 | 37.00 | 4.08 | 74.10 | 0.03 | 0.01 | 0.57 | 11.57 | 1.68 | 11.718 |
| IS002 | 2063 | 31.35 | 42.60 | 5.26 | 39.50 | 0.02 | 0.01 | 0.69 | 34.03 | 0.62 | 14.827 |
| IS004 | 2126 | 45.59 | 18.94 | 5.09 | 38.30 | 0.02 | 0.00 | 1.23 | 12.14 | 0.31 | 11.267 |
| IS005 | 2389 | 53.45 | 31.00 | 4.61 | 62.70 | 0.03 | 0.01 | 0.32 | 19.82 | 0 | 7.990 |
| IS006 | 2413 | 35.72 | 46.00 | 4.26 | 92.10 | 0.04 | 0.03 | 0.63 | 24.50 | 0.60 | 21.496 |
| IS007 | 2821 | 72.52 | 53.90 | 5.24 | 108.00 | 0.05 | 0.01 | 0.60 | 24.39 | 0.30 | 2.384 |
| IS008 | 2972 | 17.78 | 7.40 | 4.80 | 15.09 | 15.09 | 0.04 | 0.41 | 28.60 | 0.82 | 4.262 |
| IS009 | 2201 | 12.78 | 20.20 | 5.23 | 40.50 | 0.02 | 0.03 | 1.15 | 29.99 | 0 | 7.574 |
| IS010 | 2298 | 19.80 | 17.70 | 4.91 | 35.60 | 0.02 | 0.04 | 0.70 | 11.84 | 0.37 | 25.658 |
| IS011 | 2998 | 123.00 | 35.10 | 4.52 | 70.40 | 0.03 | 0.03 | 0.61 | 24.47 | 0 | 19.357 |
| IS012 | 3017 | 84.29 | 18.60 | 4.51 | 37.30 | 0.02 | 0.02 | 0.76 | 5.54 | 0.25 | 26.043 |
| IS013 | 2291 | 78.90 | 35.30 | 4.29 | 71.00 | 0.03 | 0.02 | 0.29 | 37.01 | 0.29 | 7.750 |
| IS014 | 3059 | 120.85 | 15.19 | 5.08 | 30.70 | 0.01 | 0.02 | 0.59 | 26.70 | 0.29 | 18.630 |
| IS015 | 3138 | 47.02 | 22.60 | 5.40 | 45.50 | 0.02 | 0.03 | 1.38 | 36.56 | 0.52 | 18.883 |
| IS016 | 3268 | 57.54 | 14.90 | 5.09 | 29.80 | 0.01 | 0.02 | 0.74 | 20.64 | 6.81 | 39.162 |
| IS017 | 3218 | 51.12 | 15.16 | 5.36 | 30.40 | 0.01 | 0.02 | 0.29 | 22.49 | 1.29 | 16.278 |
| IS018 | 2924 | 63.97 | 7.68 | 5.47 | 15.48 | 0.01 | 0.06 | 0.66 | 15.85 | 0.35 | 3.761 |
| IS019 | 2094 | 15.62 | 23.30 | 5.04 | 46.90 | 0.02 | 0.04 | 0.57 | 18.68 | 0.18 | 25.435 |
| IS020 | 2049 | 17.10 | 20.70 | 5.95 | 41.60 | 0.02 | 0.01 | 0.49 | 25.74 | 0.00 | 34.265 |

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015.

2.9.2.4.3 Sólidos disueltos

Los niveles de sólidos disueltos se encuentran en el rango de 7,4 y 53,9 partes por millón. Las muestras que presentan el menor contenido de sólidos disueltos son la ISO08 y la ISO18, mientras que la de mayor contenido de sólidos disueltos es la ISO07 correspondiente a bosque denso alto (Figura 2.9-3).

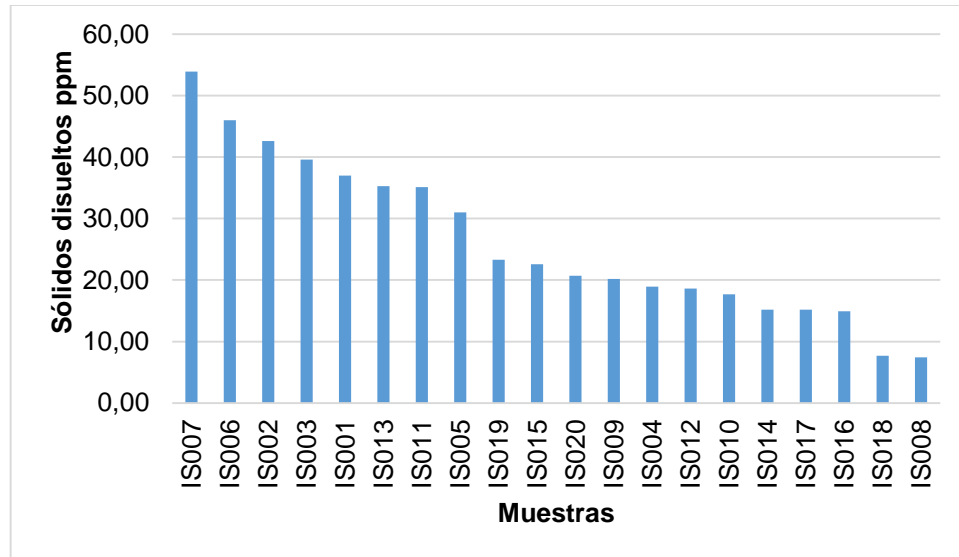


Figura 2.9-3 Sólidos disueltos en la muestras de suelo (ppm)
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.4 Conductividad eléctrica.

El menor valor se presentó en la muestra ISO08 con un valor de 15,09 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en un suelo con pastos y a una altura de 2972 msnm. El mayor valor de conductividad eléctrica fue de 108 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), en un suelo de cultivos a una altura de 2821 msnm (Figura 2.9-4).

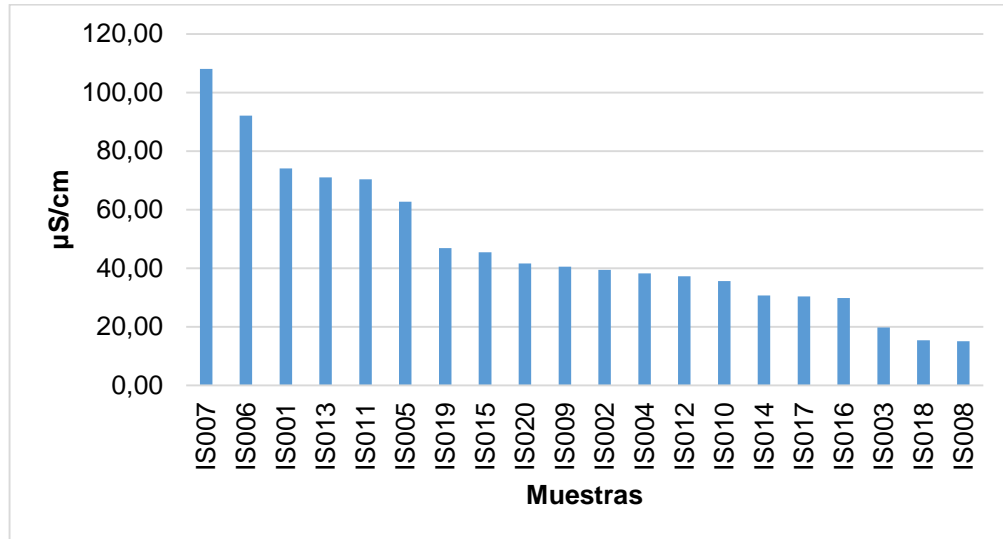


Figura 2.9-4 La conductividad eléctrica de las muestras de suelo
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Existe un relación directa entre conductividad y el contenido de solidos disueltos en todos los sitios de muestreo, el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 63,2381% de la variabilidad en Conductividad. El coeficiente de correlación es igual a 0,795224, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables (Figura 2.9-5).

Gráfico del Modelo Ajustado
Conduct = 7,47333 + 1,52098*Solidos disueltos

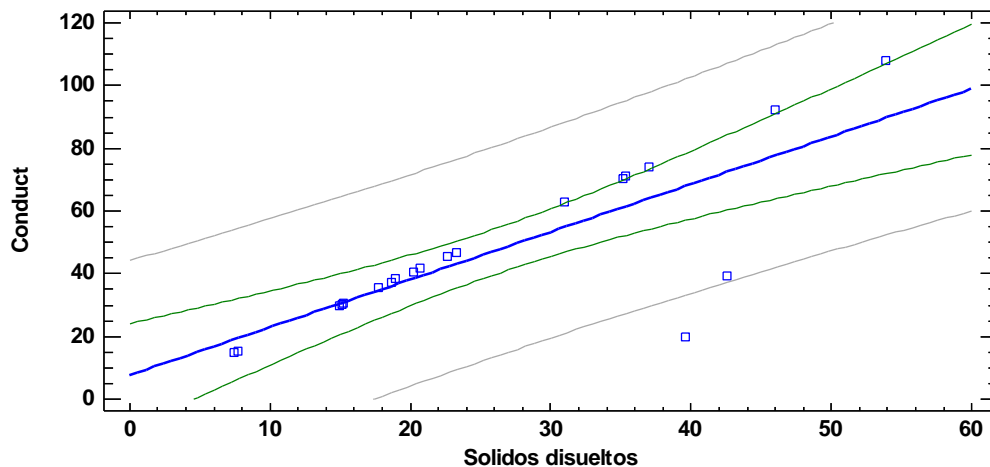


Figura 2.9-5 Relación entre conductividad eléctrica y contenido de solidos disueltos
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.5 Salinidad

Los valores de salinidad fueron más elevados e la muestras IS007 y IS006 pertenecientes a sistemas intervenidos (mosaico de pastos y cultivos y bosque fragmentado con pastos y cultivos respectivamente), sin embargo los rangos más bajos se presentaron también en suelos, con intervención antrópica IS0018 y IS008 (*Figura 2.9-6*).

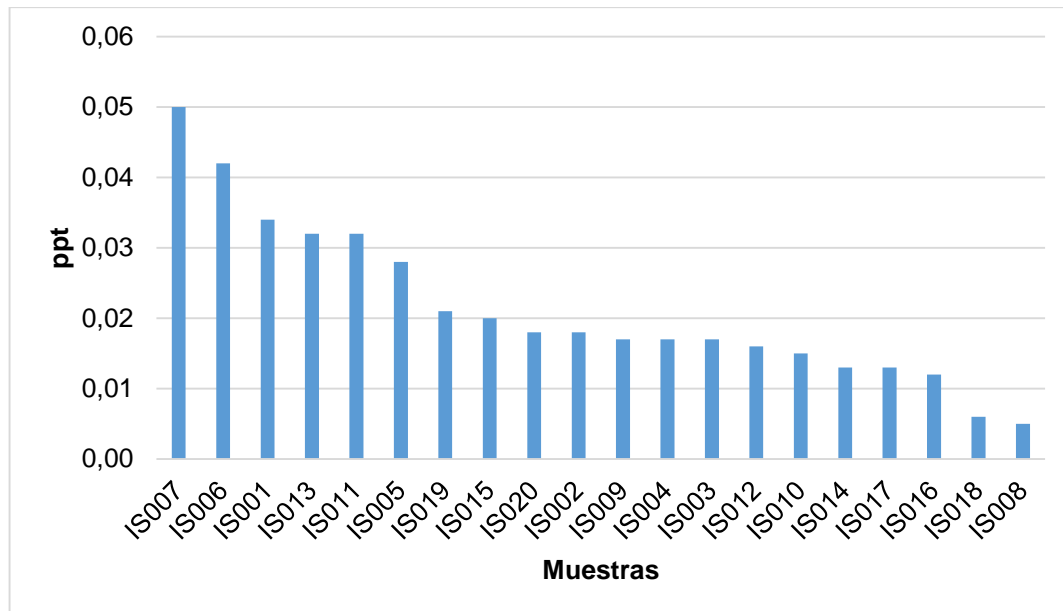


Figura 2.9-6 Salinidad

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA, 2015

2.9.2.4.6 Nitratos totales.

El menor contenido de Nitratos totales encontrado en las muestras fue de 5,54 mg/Kg a una altura de 3017 msnm y en un tipo de vegetación nativa con pastos. El mayor valor de contenido de nitratos totales fue de 37.01 mg/Kg a 2291 msnm en un tipo de vegetación secundaria, este valor se presentó en la muestra IS013 (*Figura 2.9-7*).

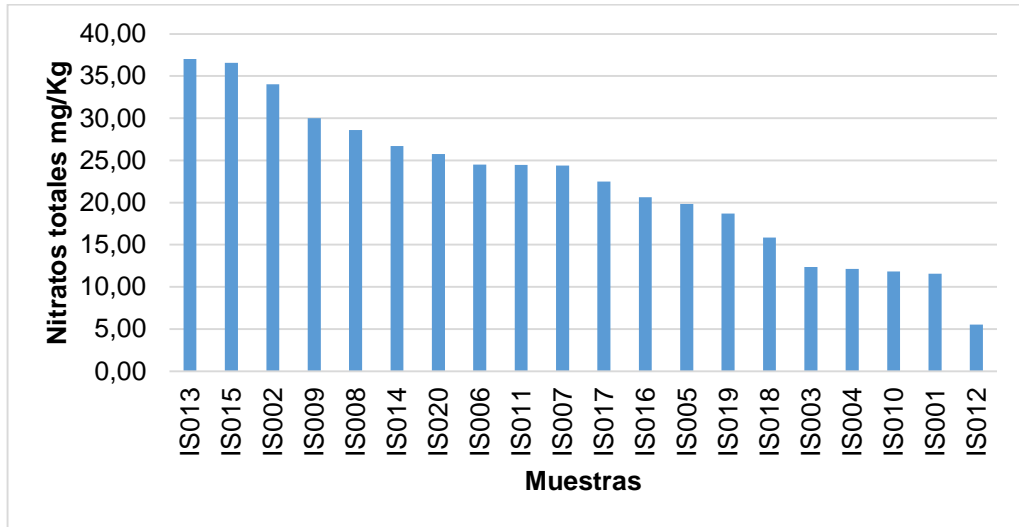


Figura 2.9-7 Contenido de nitratos totales en la muestra de suelo
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.7 Amonio total

La muestra con mayor contenido de amonio es la IS018, perteneciente a mosaico de pastos, el más bajo la muestra IS004 que no registró valores de amonio y corresponde a la cobertura de Bosque fragmentado con pastos y cultivos (Figura 2.9-8).

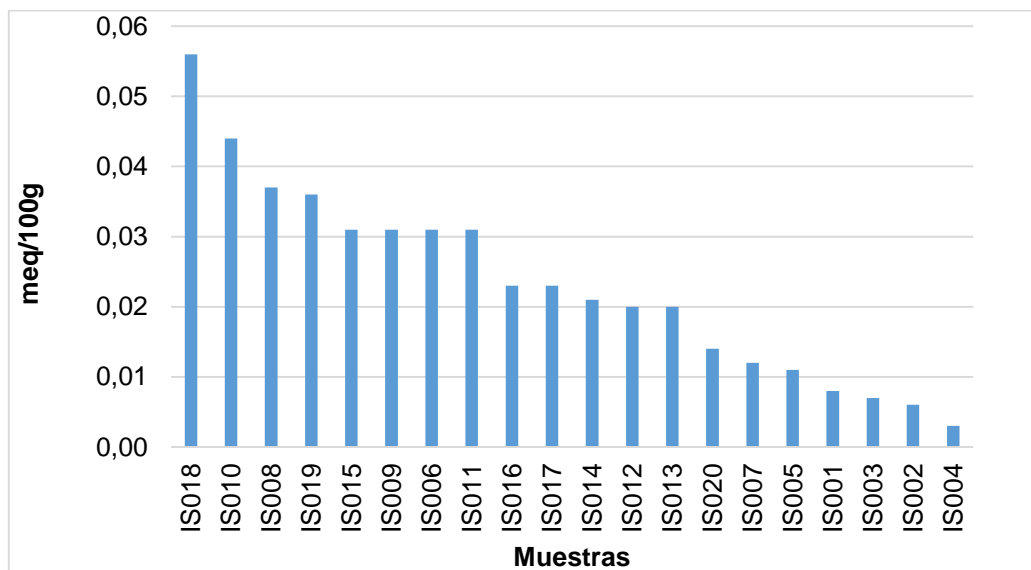


Figura 2.9-8 Contenidos totales de amonio.
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.8 Boro total.

Los resultados de boro total más altos se registraron en las muestras IS015 e IS04, que fueron tomados en Coberturas de pastos y cultivos, los más bajos se registraron en IS013 e IS017 (Mosaico de pastos y cultivos y bosque denso de tierra firme respectivamente) (*Figura 2.9-9*).

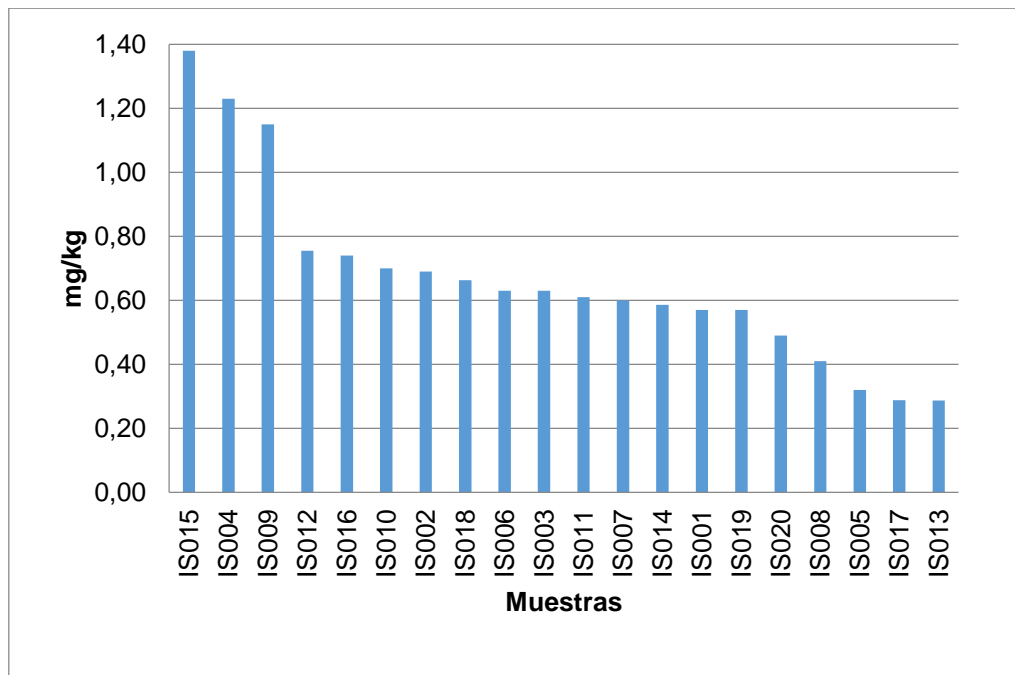


Figura 2.9-9 Contenidos totales de boro
Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

2.9.2.4.9 Sulfatos

La muestra IS016 presenta un valor muy alto en comparación con las demás analizadas, esta muestra pertenece a la cobertura de herbazal denso (Páramo), mientras que las muestras IS009, IS003, IS011, IS020, IS005 registran un valor de 0, las coberturas asociadas corresponden en su mayoría a suelos de ecosistemas alterados (*Figura 2.9-10*).

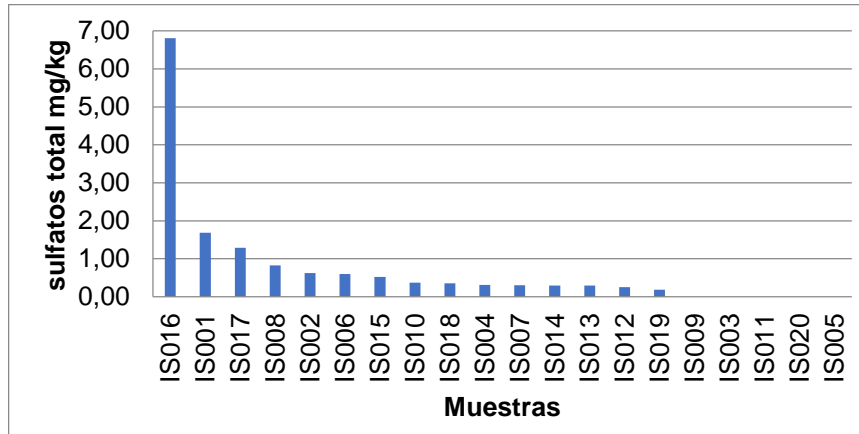


Figura 2.9-10 Contenidos totales de sulfatos.

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Los resultados obtenidos no presentan relación directa con los diferentes tipos de coberturas, salvo algunas variables que fueron características de algunas muestras, para el análisis se agruparon los suelos correspondientes a ecosistemas alterados, con cobertura de bosque alto andino y páramo. El análisis de la prueba de “calor” se puede ver en la *Figura 2.9-11*, en color rojo se aprecian las variables que no ofrecen información que permitan establecer una agrupación o diferencias. La humedad está muy relacionada con las coberturas asociadas a suelos de páramos, mientras que la conductividad a los de bosque y por ende también es en dónde se encuentran los valores más altos de sólidos disueltos. A pesar de lo mostrado en el mapa de calor no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los suelos y las coberturas asociadas a los mismos, esto producto del tipo de muestreo y el reducido número de réplicas.

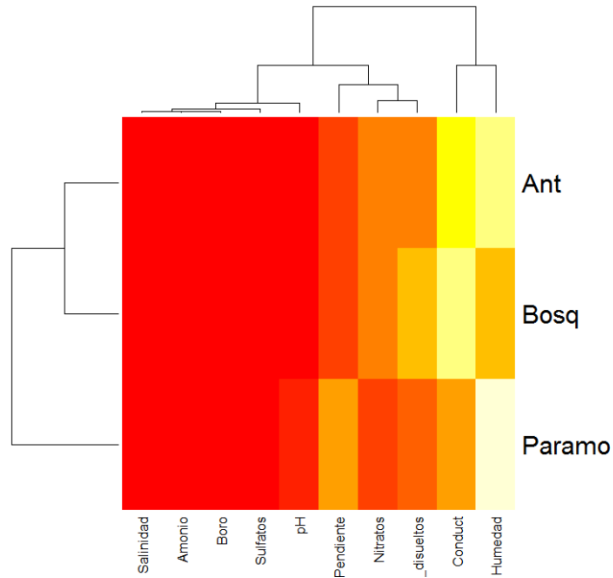


Figura 2.9-11 Mapa de calor de los tipos de cobertura y las variables medidas en laboratorio.

Fuente: CORPOCHIVOR-OCENSA 2015

Por otro lado no es posible evaluar el grado de fertilidad o degradación de cada uno de los tipos de suelo ya que no se evaluaron parámetros relevantes para éstos análisis, tales como la Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC, contenidos de elementos mayores y menores, granulometría, entre otros. Cabe anotar que el tipo de análisis de laboratorio hecho es de tipo ambiental, el cual contempla la calidad del suelo con elementos y compuestos totales y no los disponibles, que son los que brindan la información para definir la calidad agronómica del suelo.