

**Análisis de la Capacidad de Retención Hídrica del Suelo en Zonas de Páramo. Caso de
Estudio Quebrada Honda, Sibaté - Pasca**

Angie Alejandra Campos Perdomo

Proyecto aplicado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniería Ambiental

Director:

Jessica Páez Pedraza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental

Ciudad, Colombia

2021

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a Dios por la sabiduría reflejada durante la realización de este proyecto, por permitirme seguir con mis estudios y poder llegar a este punto de mi vida tan gratificante. Así mismo quiero agradecer a mi familia por la confianza y su acompañamiento durante esta etapa tan maravillosa.

De igual forma quiero agradecer a la profesora Jessica Páez quien dirigió cada paso que daba, estuvo siempre con gran disposición para mí en todo momento, asimismo deseo agradecer a los profesores Denisse Cortes y Uriel Rodríguez los cuales me apoyaron y orientaron ante cualquier duda o adversidad presentada.

Por último y no menos importante quiero agradecer a la universidad por el aprendizaje adquirido, por brindarme la oportunidad de ser una profesional con principios y buenos valores.

Resumen

En la actualidad la información referente al papel que representa el suelo de paramo en el ciclo hidrológico es muy poco conocido, así como la relación existente entre las variables climáticas y la retención hídrica del suelo. Es por esto que se realizó este estudio en la cuenca alta de la quebrada Honda en el municipio de Sibaté Cundinamarca; mediante la metodología cuantitativa con un alcance de tipo correlacional. El estudio se realizó por medio de la toma de datos y muestras en campo, además de un análisis en el laboratorio. Demostrando con ello la importancia de las características que solo están presentes en este tipo ecosistemas en cuanto a la retención hídrica del suelo; además de que la vegetación presente en estas zonas, permiten de igual manera que la humedad sea constante permitiendo tener un equilibrio hidrológico. Por otro lado, las variables climáticas como temperatura del aire y humedad relativa evidenciaron una alta relación con respecto a la humedad del suelo, mostrando con ello que la cobertura arbustal mesófila al tener una vegetación tupida con árboles bajos, le permite a esta zona conservar la humedad y un clima frío.

Palabras claves: Paramo, retención hídrica, capacidad de campo, variables climáticas, suelo, punto de marchitez

Abstract

At present, the information on the role of the paramo soil in the hydrological cycle is little known, as well as the relationship between climatic variables and soil water retention. This is why this study was carried out in the upper basin of the Honda stream in the municipality of Sibate Cundinamarca; using a quantitative methodology with a correlational scope. The study was carried out by means of data collection and field samples, in addition to laboratory analysis. Demonstrating the importance of the characteristics that are only present in this type of ecosystems in terms of soil water retention; in addition to the fact that the vegetation present in these areas, also allows the humidity to be constant, allowing for a hydrological balance. On the other hand, the climatic variables such as air temperature and relative humidity showed a high relationship with respect to soil moisture, showing that the mesophyll shrub cover, having a dense vegetation with low trees, allows this area to conserve moisture and a cool climate.

Key words: Paramo, water retention, field capacity, climatic variables, soil, wilting point.

Tabla de Contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Tabla de Contenido.....	5
Tabla de Figuras	5
Lista de Tablas.....	6
Introducción	7
Planteamiento del Problema	8
Justificación	9
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Marco Teórico	11
Caso de Estudio.....	23
Metodología	30
Resultados y Discusión.....	43
Conclusiones y Recomendaciones	56
Bibliografías	57

Tabla de Figuras

Figura 1.....	17
Figura 2.....	23
Figura 3.....	24
Figura 4.....	25
Figura 5.....	29
Figura 6.....	31
Figura 7.....	32
Figura 8.....	33
Figura 9.....	37
Figura 10.....	39
Figura 11.....	39
Figura 12.....	40
Figura 13.....	41
Figura 14.....	44

Figura 15.....	45
Figura 16.....	45
Figura 17.....	47
Figura 18.....	47
Figura 19.....	47
Figura 20.....	47
Figura 21.....	48
Figura 22.....	48
Figura 23.....	48
Figura 24.....	48
Figura 25.....	49
Figura 26.....	50
Figura 27.....	50
Figura 28.....	50
Figura 29.....	50
Figura 30.....	51
Figura 31.....	51
Figura 32.....	51
Figura 33.....	51
Figura 34.....	52
Figura 35.....	52
Figura 36.....	52
Figura 37.....	52
Figura 38.....	53
Figura 39.....	53
Figura 40.....	53
Figura 41.....	53
Figura 42.....	54
Figura 43.....	54
Figura 44.....	55
Figura 45.....	55

Lista de Tablas

Tabla 1.....	26
Tabla 2.....	30
Tabla 3.....	35
Tabla 4.....	44

Introducción

Los páramos son ecosistemas naturales de mayor altitud en el mundo, son los principales reguladores hídricos ya que su suelo presenta características únicas, como el absorber una gran cantidad de agua procedente de la lluvia o neblina. Colombia tiene dentro de sus ecosistemas al páramo Sumapaz. Considerado como el más grande del mundo, además es la segunda fuente de abastecimiento hídrico más importante del país (Daza Torres et al., 2014).

Este ecosistema tiene características especiales, factores como el clima, vegetación y las características del suelo hace de él un regulador natural de agua. Algunos autores los denominan como una fábrica de agua reconociendo su importancia hidrológica (Díaz Granados et al., 2005). Así mismo, (Beltrán Sarmiento, 2010) considera al paramo como una gran esponja que recibe y almacena agua continuamente, esto se hace a través de los briofitos, planta característica del ecosistema de alta montaña, receptora del agua de lluvia la cual se concentra en el suelo.

De igual manera, este suelo de paramo está cubierto de musgo cuya capacidad de absorción es muy alta, su principal función es trabajar como regulador hídrico ya que toma el agua que recibe, para abastecer su propio ecosistema como también las corrientes de agua superficiales y subterráneas que provienen de él (Ospina Rodríguez, 2003).

A pesar de la importancia que tiene el páramo como suministrador hidrológico y regulador del ciclo del agua en la cabecera de los ríos, su hidrología es muy poco entendida. En estos ecosistemas los datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes, y la literatura científica es extremadamente escasa. Por ello en este proyecto se pretende analizar, esa capacidad de retención hídrica del suelo en zonas de bosque conservado y en regeneración en la cuenca alta de la Quebrada Honda, Sibaté – Pasca del páramo Sumapaz; determinando de igual manera la relación entre las variables climatológicas y la capacidad de retención hídrica del suelo de dicha cuenca.

Planteamiento del Problema

Los ecosistemas de paramo son fundamentales para la regulación hídrica natural y el abastecimiento de agua de la población, así como medio de soporte económico en las actividades antrópicas. Sin embargo, en los últimos años se ha visto, que en los páramos las condiciones de los suelos originales han sido cambiadas debido a la implementación de actividades agropecuarias. De tal forma que sus características físicas se han visto afectadas notablemente, especialmente las relacionadas con los procesos de captura retención y almacenamiento de agua, función principal de los suelos de páramo.

Debido a su gran capacidad de almacenamiento de agua, los suelos del páramo se constituyen en un gran reservorio, los que proporcionan un balance natural entre épocas lluviosas y secas. De no existir estos suelos, los caudales en las épocas lluviosas serían más altos y en las épocas secas los ríos estarían secos (LLambi et al., 2012).

En el páramo de Sumapaz uno de los más importantes del mundo, se ha extendido la frontera agrícola generando severas afectaciones en las coberturas y suelo del mismo. Este es el caso de la cuenca alta de la quebrada Honda, la cual es abastecedora del acueducto regional Aguasiso E.S. P. Si se continúa degradando esta cuenca se pondría en riesgo el abastecimiento hídrico de los usuarios del acueducto, es por ello que se han realizado esfuerzos para la recuperación de la retención hídrica de la cuenca.

Pregunta de Investigación

¿Cómo es la retención hídrica de suelo de páramo y cuál es su importancia en el ciclo hidrológico?

Justificación

Los páramos son considerados ecosistemas de las montañas cuya función es la retención de aguas y la regulación hídrica durante todo el año. Varias lagunas de Sumapaz son reservas naturales de agua, provienen de glaciares, lo que ilustra la importancia natural de este lugar, además su suelo está cubierto de musgo y otras especies vegetales absorbentes de agua, lo que hace que el subsuelo de Sumapaz sea de gran importancia su conservación (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia, 2013).

Gracias al rendimiento hídrico proporcionado por el páramo en el proceso de precipitación horizontal, donde pequeñas gotas de agua presentes en las nubes o la niebla; son arrastradas hacia la vegetación por el viento e interceptadas y reunidas en gotas de agua más grandes, las cuales se depositan y escurren desde la superficie de la planta, (Navarrete González, 2004) convirtiéndolo en unos de los reservorios de agua más importantes para la ciudad de Bogotá y los municipios aledaños. Sin embargo, aún se desconoce el verdadero rol del suelo de paramo en el ciclo hidrológico, por lo cual es fundamental estudiar sus características, así como su relación con la cobertura y la retención hídrica, para así orientar adecuadamente las acciones para la restauración y conservación de las cuencas paramunas.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la capacidad de retención hídrica del suelo de páramo en zonas de bosque conservado y en regeneración y su relación con variables climatológicas en la cuenca alta de la Quebrada Honda

Objetivos Específicos

Caracterizar la capacidad máxima de retención hídrica de muestras del suelo en zonas de bosque conservado, en regeneración y capa vegetal de briófitos de la cuenca alta de la Quebrada Honda.

Determinar la relación entre las variables climatológicas y la capacidad de retención hídrica del suelo de la cuenca alta de la Quebrada Honda

Marco Teórico

Ecosistemas de Páramo

Al intentar comprender la retención hídrica del suelo de páramo es necesario precisar que en este tipo de ecosistemas el suelo es volcánico poroso, con un alto contenido de materia orgánica, poco profundo y con diferentes circunstancias climáticas especiales, lo cual lo hace diferente comparado con otras cuencas montañosas ya que, las características presentes en estos suelos permiten que, en este tipo de ecosistemas sus afluentes hídricos tengan un mayor flujo debido a su elevada capacidad de regulación hídrica. (Buytaert et al., s.f.), según un estudio realizado por (Daza Torres et al., 2014) la capacidad de retención hídrica proviene gracias a las características físicas de los suelos paramunos como baja densidad aparente, alta porosidad y condiciones de consistencia muy friable. (Petillo et al., 2008) desarrolló un estudio en cual se analizó la retención hídrica de los suelos de un ecosistema de paramo llamado Llinizas de Chaupi ubicado en el Ecuador, aplicando una metodología de comparación y análisis fisicoquímico entre suelos de paramos intervenidos por el hombre y no intervenidos, encontrando que el páramo no intervenido presenta un alto contenido de materia orgánica de 8,57% y una porosidad mayor que otros tipos de suelo intervenidos por lo que retiene una mayor cantidad de agua por hectárea (1080 m³/ha), gracias a sus características especiales y del tipo de vegetación del mismo.

Ahora bien, de acuerdo con (Díaz Granados et al., 2005) los páramos son ecosistemas zonales ubicados principalmente en las montañas tropicales de América Central y del Sur, con una elevación de aproximadamente 3000 a 4500 metros, constituyendo la altitud de las montañas tropicales. Generan flora, ecología, edafología, geomorfología y tipología climática especial; además de acuerdo con (Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente - AIDA, 2013) proveen servicios ambientales a más de 100 millones de personas, su formación ha sido un proceso lento y constante que se remonta a cientos de miles años atrás. Esta definición se tomará para efectos de este estudio.

Distribución de los Páramos en Colombia

Zonas del Paramo

Las zonas de paramo se dividen según (Ospina & Rodríguez, 2011), en el subpáramo el cual comprende entre 3.200 y 3.500 (3.600) metros. Se caracteriza principalmente por una vegetación arbustiva, los cuales se componen del trébol de dos hojas, hierba de cinco puntas, *Gynoxys* (composite), *hypericum* (*H. laricifolium*, *H. ruscoides*, *H. juniperum*), *Pernettya*, *vaccinia*, *Bejaria* y *Gaultheria* (familia *Rhododendron*) y tiene una temperatura media de 10°C. Después está el páramo, que tiene un rango de altitud entre 3500 y 4100 metros. Dominado por la vegetación frailejona-pajona, pastizales y turberas. La diversidad comunitaria es la más grande. Luego está el superpáramo que se ubica por encima de los 4.100 m. logrando el límite inferior del glaciar, caracterizado por la discontinuidad de su vegetación y una considerable superficie de rocas desnudas. Posteriormente está el páramo azonal el cual cuenta con una vegetación paramuna que crece fuera de las condiciones climáticas y edáficas dominantes. Por lo general se presenta a menor altitud en crestas de montaña o en el fondo de valles.

Por último, se encuentran los humedales y turberas. De acuerdo con (ARIAS BERNAL, 2011) los humedales son ecosistemas húmedos como pantanos, lagos, ciénagas y áreas similares. Son suelos saturados de agua que combinan las características de los ecosistemas terrestres y acuáticos, mantienen una actividad biológica muy adaptable a los ambientes húmedos, por lo que a menudo se encuentran la existencia de plantas y animales estrechamente relacionados con el medio acuático. Por otra parte, y no menos importante se encuentran las turberas las cuales según (Acero-Rodríguez & Vargas, 2016) son un tipo de humedal donde la materia orgánica se descompone muy lentamente y la turba se acumula en condiciones Anaeróbico. Las turberas almacenan alrededor de un tercio del carbono del suelo en el mundo.

Páramo de Sumapaz

Para entender la importancia del ciclo hidrológico y comprender la retención hídrica del páramo Sumapaz, es necesario tener en cuenta que según él (Ministerio de Ambiente, 2021) el páramo Sumapaz es un Parque Nacional Natural el cual figura como uno de los principales ecosistemas de las montañas tropicales; en él se encuentran franjas de vegetación bosque altoandino, andino y subandino. Estos ecosistemas tienen características únicas especialmente en sus suelos que les permite retener una gran cantidad de agua, es decir son capaces de retener un gran volumen de agua. Según un estudio realizado por (Daza Torres et al., 2014) en el corregimiento de Nazaret (vereda Tanquecitos Finca “La María”) dentro del páramo Sumapaz, aplicando la metodología estructural de análisis de laboratorio se pudo hallar que, los suelos bajo condiciones de vegetación nativa, es decir con un ecosistema no intervenido tienen una alta capacidad de humedad, lo cual le permite retener agua a diferentes tensiones evidenciando su función ecológica de regulación hídrica.

El macizo del Páramo Sumapaz corresponde al nudo topográfico de la cordillera oriental, con una altura promedio entre 3.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar de acuerdo con (Ospina Rodríguez, 2003). Se encuentra ubicado entre los municipios de Soacha, Sibaté, Cabrera, Gutiérrez, Arbeláez, San Bernardo de los departamentos de Cundinamarca, con el Distrito Capital Bogotá, con seis municipios del departamento del Meta y un municipio del departamento del Huila (Sandoval Bayona E & García Rodríguez K, 2018).

La importancia que tiene el páramo Sumapaz en Colombia es única, ya que es considerado el más grande del mundo y la segunda fuente de agua más importante dentro de las áreas protegidas del país, adicionalmente contribuye con sus aguas a las dos principales cuencas hidrológicas del país el río Magdalena y el río Orinoco citado a (Daza Torres et al., 2014).

Además de su función hidrológica, este paramo tiene a su disposición de acuerdo con un estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la

Universidad Nacional (2004) 635 especies de 280 géneros y 80 familias, el patrón de riqueza en cuanto a las familias está dominado por Asteraceae, Poaceae y Orchidaceae; en cuanto a géneros predominan *Pentacalia*, *Miconia*, *Hypericum* y *Diplostegium*. En su extensión de 333.420 Ha, una vegetación formada por Chuscales de *Chusquea tessellata*; arbustos bajos y pastizales con *Arcytophyllum nitidum*; arbustos de *Vaccinium floribundum*; pastizal de *Calamagrostis effusa*; *Calamagrostis effusa* y *Espeletia* spp. Pajonales se mezclan con arbustos de *Arcytophyllum nitidum*. El área de bosque altoandino está dominada por la vegetación de páramo de *Clusia multiflora*, *Miconia squamulosa*, *Weinmannia rollottii* y *Weinmannia tomentosa*, y *Arcytophyllum nitidum* y *Espeletia phaneractis* (Morales Rivas Mónica et al., 2007, p.98).

Propiedades de los Suelos

En efecto las propiedades físicas del suelo son muy importantes para las funciones hidrológicas dentro del páramo, para este estudio se va a tener en cuenta los siguientes conceptos referentes a dichas características:

De acuerdo con, (Perez & Rodriguez, 2020), La retención de humedad en el suelo se refiere al agua adherida a las partículas sólidas en forma de película, la cual se satura debido a la influencia de una serie de fuerzas, que definen el estado energético del agua en el suelo en un punto determinado. Una investigación realizada por (Daza Torres et al., 2014) en el páramo Sumapaz, donde a través de muestras analizadas en el laboratorio comparó dos tipos de suelos (suelo nativo y suelo de páramo dedicados a la agricultura) hallando con ello que, si se cambia el uso de estos suelos con actividades productivas como la agricultura se alteran la retención de humedad por ende la capacidad de almacenamiento.

(Pérez Díaz & Rodríguez Rodríguez, 2020) consideran, que la porosidad es el porcentaje de volumen en el suelo que no está ocupado por partículas sólidas. Los poros del suelo son espacios que contienen agua, gases y actividades biológicas del suelo. Por otra parte (González Barrios & González Cervantes, 2012) afirma, que el flujo de agua y aire se lleva a

cabo por medio de la porosidad del suelo condicionada por el tamaño, abundancia y distribución de poros, además la porosidad es un indicador de retención hídrica en el suelo; este mismo autor hizo un estudio en la cuenca alta del río Nazas mediante el análisis de imágenes morfológicas encontrando que, en suelos intervenidos por el hombre la porosidad es muy baja causando con ello disminución en el flujo de agua y aire en el suelo. provocando a su vez erosión en la tierra.

De otro modo (LLambi et al., 2012) afirma, que La capacidad de retención de agua depende más de los microporos, porque en el proceso de secamiento, el agua se drena a través de los poros más grandes bajo la acción de la gravedad, mientras que en los poros muy finos la atracción de la superficie de las partículas puede actuar para retener el agua. Los suelos paramunos representan mayor porosidad ya que en ellos se encuentran valores que pueden ir desde el 60 hasta el 90 % e incluso más.

(Borda Adriel, 2016) define a la Capacidad de Campo como el contenido de agua o humedad que el suelo puede mantener después de que está saturado o completamente humidificado, donde luego permite un drenaje libre para evitar la pérdida por evaporación hasta que el potencial hídrico del suelo sea estable. Una investigación realizada por (Daza Torres et al., 2014) en el páramo Sumapaz, donde se comparó dos tipos de suelo de paramo (suelo en descanso y suelo con actividades agrícolas), demostrando con dicha comparación que en un suelo con vegetación nativa, la humedad de campo a capacidad de campo fue de 80% en cambio en un suelo con actividades agropecuarias fue de 60% comprobando que en estos suelos se mantiene su capacidad de retención, siempre y cuando sus propiedades físicas no sean alteradas por el hombre.

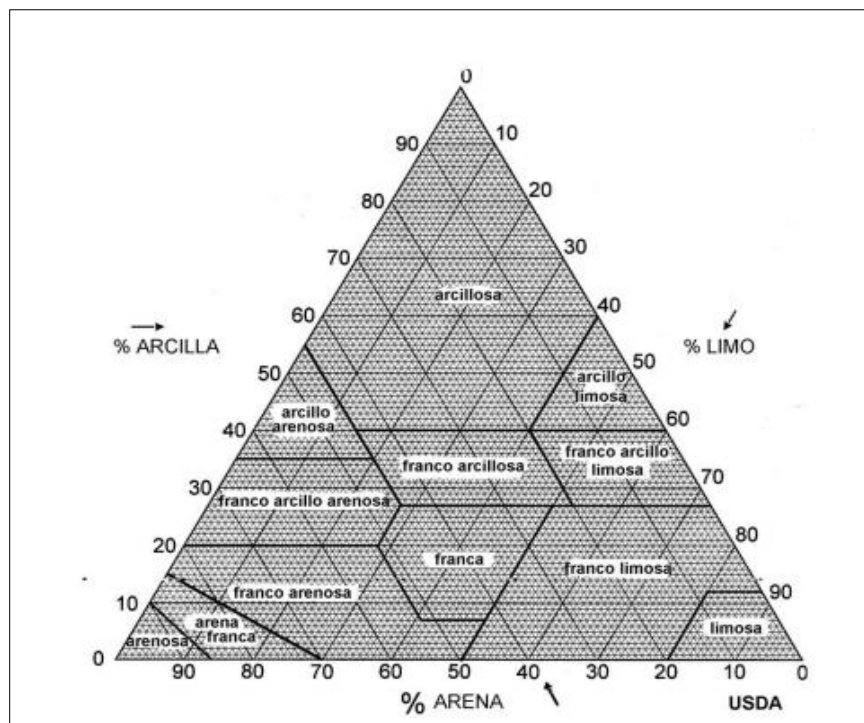
El punto de marchitez permanente lo enfatiza (Zembrano Jhon, 2020), como el punto de humedad más bajo, en el cual la planta no puede continuar extrayendo agua del suelo, e incluso si la humedad ambiental está saturada, no puede recuperarse de la pérdida de agua. A partir de ahí, las plantas que están en estas condiciones húmedas, no tienen posibilidad de

abastecerse de agua. Un análisis realizado por (Calvache & Vallejo, s.f.) en el suelo de páramo de la sub cuenca rio la chimba en el cual idéntico la cantidad de agua retenida, determinando de igual forma la acumulación de agua en diversos estados de vegetación (paramo intervenido con quema y paramo intervenido con tala), mediante el análisis de muestras de suelo en laboratorio, afirmando con dicho estudio que el suelo de paramo tiene una alta capacidad de retención hídrica gracias a las características físicas del mismo, ya que en este estudio se encontró que, el páramo que fue intervenido con quema presentaba valores más altos de capacidad de campo y punto de marchitez con (CC: 0.4679 cc agua/cc suelo; PM: 0.2383 cc agua/cc suelo) mientras que el páramo intervenido con tala obtuvo valores más bajos con (CC: 0.2015 cc agua/cc suelo; PM: 0.1180 cc agua/CC).

La textura del suelo según lo plantea (Rucks et al., 2004), se refiere al porcentaje en que se encuentran los elementos que conforman el suelo como; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Igualmente se dice que la textura es una expresión sintética de las características del suelo dependientes del tamaño de las partículas. Favoreciendo además la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. Una investigación realizada por (Ramírez Rodríguez et al., 2012) en el páramo Verjón, donde por medio de calicatas se evaluaron las propiedades del suelo y su relación con los nutrientes en el desarrollo de la vegetación, mediante un análisis de laboratorio logrando encontrar que; en una textura franco arenosa se puede hallar más posibilidades para que la vegetación pueda absorber más agua y nutrientes, teniendo así una mayor probabilidad de que una planta se desarrolle en este tipo de textura de suelo. En la figura 1. Se observa el diagrama textual del suelo.

Figura 1

Diagrama textural



Fuente: (Gisbert Blanquer et al., 2010)

Retención Hídrica de Suelos de Páramo

La retención hídrica es generada gracias a la acumulación de agua en el suelo, por lo que (Pinzón Pinto A., 2016) considera que, los ecosistemas de páramo proporcionan importantes funciones ecológicas, una biodiversidad única y un suelo con una fuerte capacidad para fijar el carbono atmosférico. Lo más notable es su capacidad de retención y almacenamiento hídrico; incluso los páramos han formado las cuencas hídricas las cuales nutren a gran parte del país, suministrando de agua al 70% de la población. (Perez & Rodríguez, 2020) desarrollaron una investigación en el límite de la cuenca alta del Río Teusacá de la vereda El Verjón perteneciente al páramo Cruz Verde; donde se determinó y evaluó la calidad del suelo mediante un análisis estadístico y una revisión literaria; determinando que la calidad del suelo está dada especialmente por el contenido de materia orgánica, la densidad

aparente y la retención de humedad. Por lo que los suelos de páramo son fundamentales para la oferta hídrica, por su gran capacidad de retención de humedad y alto contenido de carbono.

Para este estudio el concepto de retención de hídrica del suelo se va referir al agua adherida a partículas sólidas en forma de películas delgadas, generalmente saturadas bajo la acción de una serie de fuerzas, que definen el estado energético del agua en el suelo en un punto determinado. Como lo expresa (Hofstede Robert, 1997)

La retención hídrica depende de las propiedades físicas que tenga el suelo por lo tanto según (Mena et al., 2000), el suelo típico de páramo es negro y húmedo; debido su alta humedad, clima frío y una descomposición de materia orgánica muy lenta, lo cual da como resultado a una capa gruesa de suelo orgánico.

Estos suelos generalmente se derivan de los volcanes y se caracterizan por su humedad, acidez y un pH entre 3.9 y 5.4 como lo indica (Díaz Granados et al., 2005). La materia orgánica presente en este tipo de suelos puede absorber agua por una suave carga eléctrica por lo que hace que estos suelos humíferos mantengan una gran retención hídrica es decir existe una relación mutua entre agua y materia orgánica (Hofstede, 2001).

Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica y la Retención de Agua

Al tratar de conocer la importancia del páramo en el ciclo hidrológico, es necesario precisar que estos ecosistemas son fundamentales en la regulación hídrica, al ser su principal servicio ecosistémico. (Daza Torres et al., 2014) describe al páramo como una unidad ecológica muy importante para la regulación de los recursos hídricos, ya que por su estructura puede retener una gran cantidad de agua en su suelo, controlando su flujo a través de las cuencas hidrográficas, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Un estudio efectuado por (Ivanova & Marín-Arévalo, 2021) donde por medio de un análisis de información identifico el impacto que produjo la agricultura sobre la oferta hídrica de la cuenca del río Gachaneca en el páramo Rabanal. Con este trabajo se pudo comprobar que, la capacidad de regulación hídrica depende de las características que tiene el suelo y sus coberturas vegetales;

ya que la cuenca estudiada no cuenta con una buena capacidad de regulación hídrica puesto que tuvo un valor por debajo de 0,5 para IRH (Índice de Retención y Regulación Hídrica) debido a las actividades agrícola a la que fue sometida esta cuenca, las cuales disminuyeron la capacidad de retención de agua de la cuenca en un 27,8%. Cabe decir, que la regulación del ciclo hidrológico ocurre en un ecosistema cuando el agua se almacena durante períodos húmedos, la cual es liberada durante los períodos secos (LLambi et al., 2012).

No obstante, de acuerdo con (Vargas et al., 2004) los páramos son un ecosistema, en donde la vegetación y el suelo tienen un enorme potencial de interceptación y almacenamiento hídrico, lo que determina su valor estratégico. En los páramos el agua se filtra hasta cierta profundidad en los acuíferos de las turberas; estas turbas son capas gruesas de suelo orgánico saturado que actúan como esponjas en el páramo ya que el agua almacenada se va filtrando y liberando hasta formar un río. La capacidad de capturar, almacenar y redistribuir el agua depende de las características de la cuenca y está relacionada con las condiciones climáticas, geológicas, topográficas, geomorfológicas, tipo de vegetación y el uso de del suelo. Esta definición es la que se tomara para la realización de esta investigación.

Briófitos y su Capacidad de Retención Hídrica

Para esta esta investigación se entiende como briofito a aquella planta terrestre que puede llegar a medir hasta unos 20 centímetros. Son de color verde, marrón o rojizo no poseen tejidos de conducción especializados como la xilema y el floema de las plantas vasculares. Por lo tanto, el transporte de agua y nutrientes ocurre de célula a célula por difusión o transporte activo. Los briófitos fueron las primeras plantas en colonizar la tierra; existen en varios hábitats, desde los 4500 metros sobre el nivel del mar y tienen una gran importancia ecológica. Según lo afirma (Morales Baquero et al., 2017). Posteriormente (MERCHÁN JULIA B. et al., 2011) de igual forma considera que, estas plantas son captadoras de agua muy efectivas y tienen un excelente indicador del pH. Debido a que pueden adaptarse y retener la humedad, también

viven con éxito en áreas áridas, lo que les permite mantenerse húmedas durante sequías prolongadas.

Los briofitos tienen una gran capacidad de captar agua de las lluvias mejorando así los contenidos de humedad en el suelo, por este motivo (Ospina E, 2016) realizó una investigación donde se comparó el nivel de eficiencia en administración de fluidos de dos especies de briofitos. (*Campylopus Jamesonii*, y *Thuidium Peruvianum*) los cuales fueron tomados de una localidad situada en Santa Elena (Medellín, Colombia). Con el objetivo de conocer cuál de las dos era más eficiente; mediante un análisis morfológico logrando encontrar que, la morfología y estructura celular de estas plantas está estrechamente ligada con su comportamiento hídrico, es decir la característica de estas plantas permite que mantenga una mayor absorción de agua, dado que entre más revolucionada y frondosa sea su composición más cantidad de fluido puede llegar a retener.

Precipitación Horizontal y Vertical e Instrumentos de Medición

La precipitación del páramo es regularmente de moderada a alta, los eventos de lluvia dentro del páramo son por lo general de frecuencia alta e intensidad baja; la lluvia horizontal añade una cantidad desconocida de agua al sistema hidrológico aumentando la oferta hídrica (Buytaert et al., s.f.).

En la opinión de (Ospina Rodríguez, 2003) la precipitación pluvial en el páramo Sumapaz varía mucho según la ubicación y el año, pero con base a investigaciones realizadas durante los últimos años, se ha determinado que esta precipitación es de entre 700 y 1.000 milímetros por año. Asimismo, se ha determinado que la lluvia en el Páramo está relacionada con la densidad y existencia del bosque andino, que se extiende más debajo de la zona Paramuna. La nubosidad del páramo es muy alta; durante la mayor parte del año, el ciclo de cobertura domina y la niebla lo envuelve a menudo, especialmente durante las temporadas de nubosidad. De igual forma la llovizna del páramo suele durar varias horas y mantiene una alta humedad tanto en el ambiente como en el suelo.

De otro modo, (Navarrete González, 2004) indica que la precipitación horizontal es el proceso mediante el cual pequeñas gotas de agua que existen en las nubes o la niebla son arrastradas a la vegetación por el viento, donde son interceptadas y acumuladas en gotas de agua más grandes que se precipitan y escurren por la superficie de las plantas o son absorbidas por ellas. Por su parte, (Villacís, 2017) declara que las nubes que aparecen son producto del agua que se condensa en el aire, esto es lo que da origen a la neblina.

Medición de Precipitación Vertical

La entrada de agua puede estar representada por precipitación vertical, precipitación horizontal o neblina típica en los sistemas andinos tropicales. Dicha agua que cae por este tipo de precipitaciones se pone en funcionamiento a partir de diferentes rutas y compartimentos, donde finalmente se llega a los ríos y embalses subterráneos (Vargas et al., 2004). Por tal razón, las mediciones de las precipitaciones dentro de la zona de estudio son muy importantes para el análisis realizado. Por consiguiente (Orlando Olivares et al., 2016) describe a los pluviómetros como instrumentos, que se utilizan para medir la lluvia en un lugar determinado en un período de tiempo específico. A partir de las lecturas leídas por el instrumento, se puede obtener información relacionada con los periodos de días consecutivos lluviosos y no lluviosos, máxima y mínima lámina de agua, además de la precipitación total diaria, semanal, mensual y anual. De igual manera cabe mencionar que, el pluviómetro recoge agua atmosférica en varios estados; la cantidad total se denomina precipitación y su unidad de medida es en milímetros (mm) (Macarrón, 2020). Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela, el cual se desarrolló con el objetivo de incorporar, sistemas de información de red de pluviómetros alternativos en medios rurales en el estado Anzoátegui. aplicando la metodología de la investigación acción participativa con esta investigación se logró evidenciar que los pluviómetros alternativos o artesanales constituyen una opción practica y de muchas utilidades para obtener información respecto al comportamiento fluvial (Olivares et al., 2016).

Medición de Precipitación Horizontal

De acuerdo con (Corell David, 2020) un colector de neblina cilíndrico se compone de una malla metálica de forma cilíndrica dispuesta verticalmente. Estos colectores cilíndricos tienen ventaja frente a los colectores planos, ya que para su disposición en campo no requiere investigación previa porque son igualmente efectivos en la captura de niebla en todas las direcciones del viento.

En la opinión de (Corell Custardoy, 2015) el cual describe a los colectores de niebla tipo arpa, como aquellos instrumentos que están formados por mallas hechas con material de nylon, teflón, o alambre. Los cuales se disponen de manea vertical con cierta tensión, fijados por dos postes laterales; con el fin de obtener la forma de un panel o pantalla permitiendo a su vez el deslizamiento de las gotas de agua condensadas en ellos.

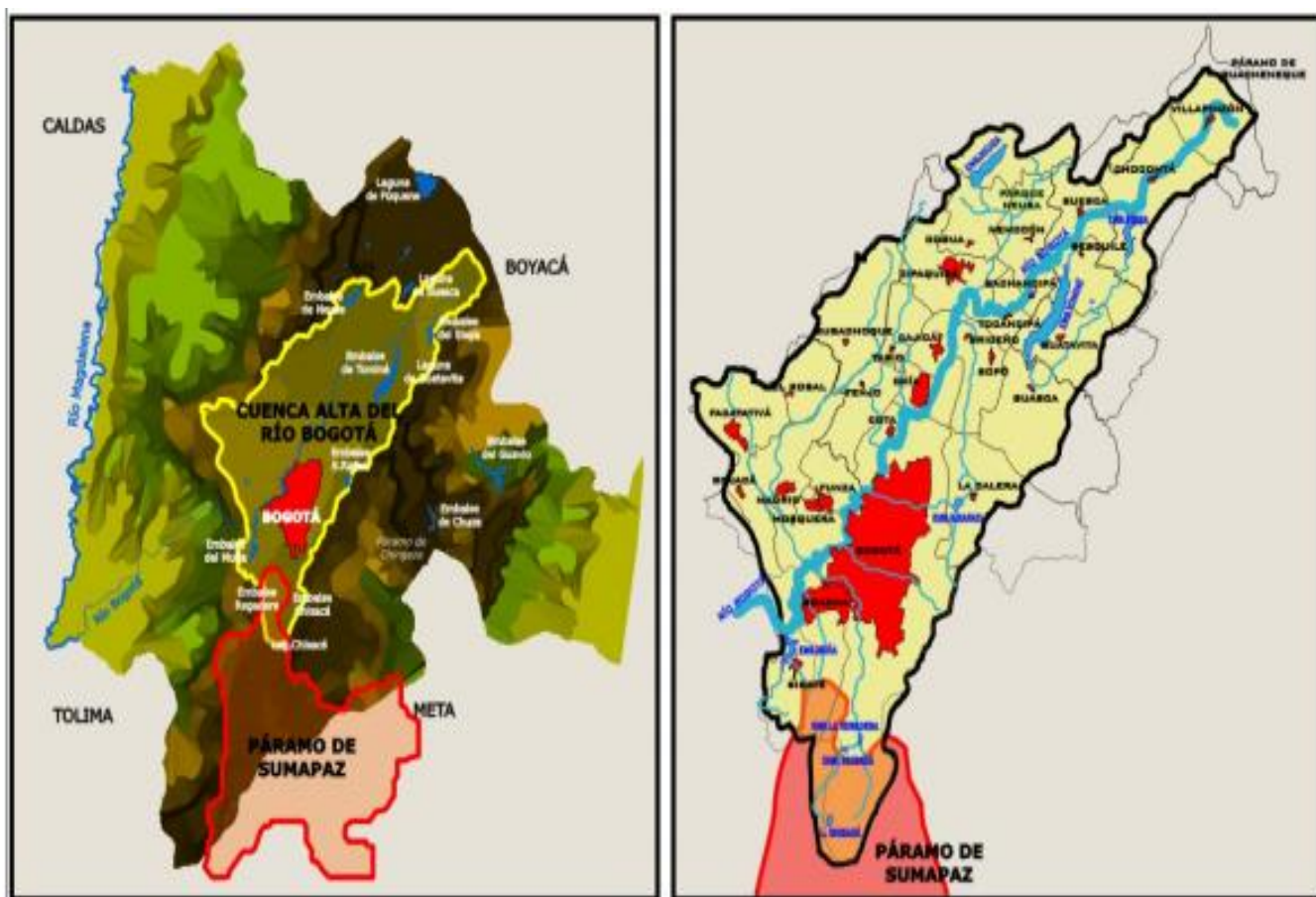
Caso de Estudio

Localización

El Páramo de Sumapaz se encuentra en las cordilleras andinas y las cimas cubiertas de nieve perpetua, está franja está bien definida y se constituye como un ecosistema de Páramo único en el planeta y exclusivamente Grancolombiano. A continuación, en la figura 2 se puede observar la ubicación del páramo Sumapaz.

Figura 2

Ubicación del páramo Sumapaz

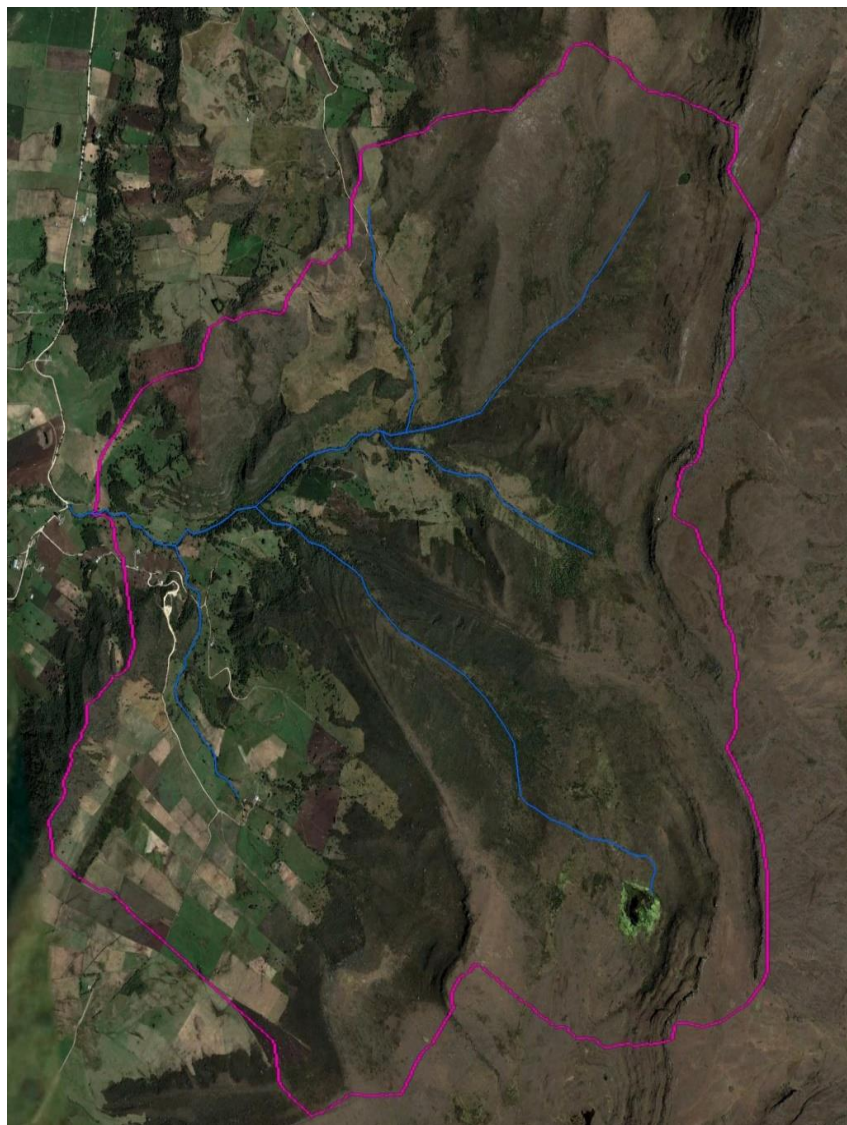


Fuente: Ospina Rodríguez (2003)

Dentro del páramo de Sumapaz en los límites entre los municipios de Sibaté y Soacha se encuentra ubicada la cuenca alta de la quebrada Honda, la cual abastece al acueducto regional Aguasiso E.S.P. con un total de 1720 usuario de las veredas de Sibaté, Soacha y Granada. En la figura 3. Se observa la ubicación de la Quebrada Honda.

Figura 3

Quebrada Honda, Sibaté – Pasca



Fuente: Páez (2020)

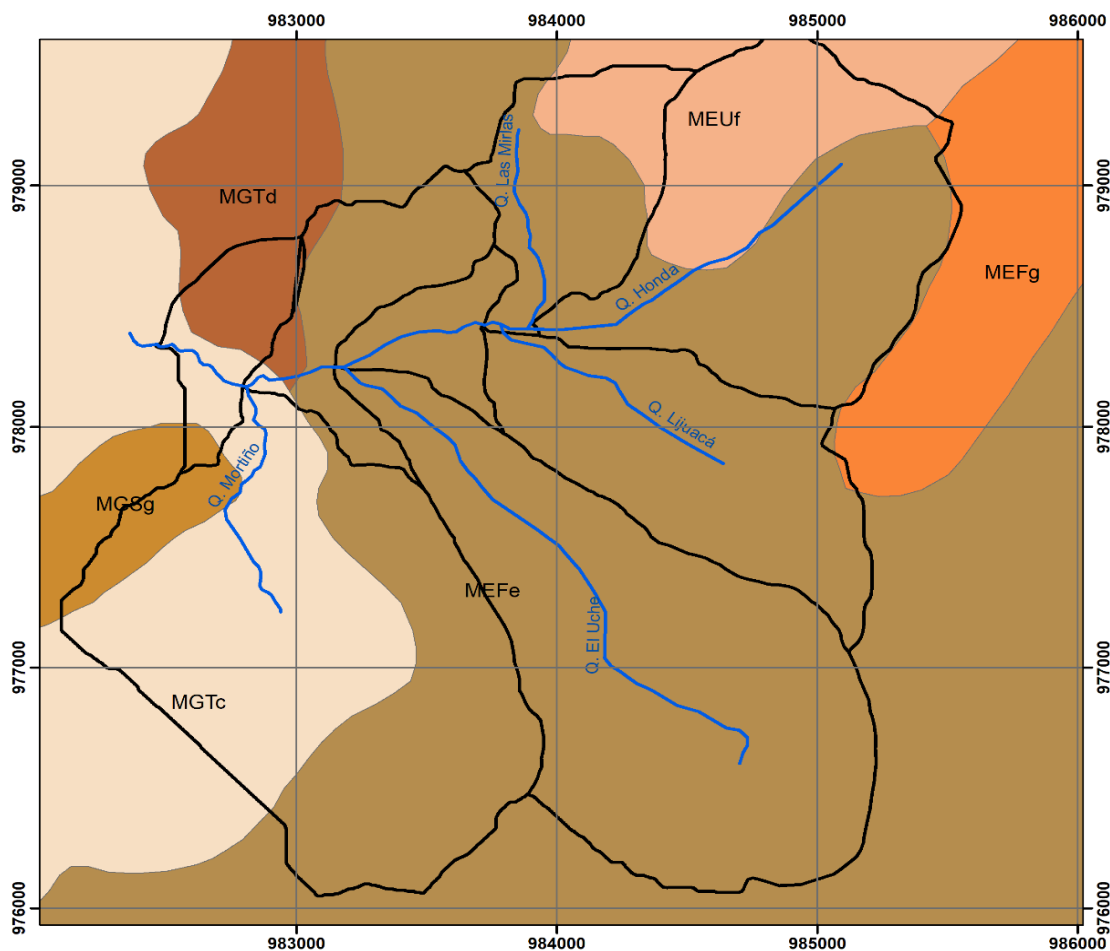
Características de la Cuenca de Estudio

Suelos

La mayor parte del suelo del páramo está cubierto por una densa vegetación, la cual está dominada por pastizales, vegetación arbustiva baja y plantas frágiles, acompañada de musgos (briofitas); su capacidad de absorción es muy alta. Aquí la tierra es negra permeable; convirtiendo este suelo en una verdadera esponja, además de un enorme reservorio hídrico, con una importancia ecológica que no tiene precio alguno (Ospina Rodríguez, 2003). A continuación, en la figura 4. Se puede observar el mapa del suelo estudiado, la cuenca alta de la quebrada Honda.

Figura 4

Mapa del suelo cuenca alta



Fuente: Páez (2020)

Los suelos de páramo suelen ser de color más oscuro y están estrechamente relacionados con la materia orgánica (este es el motivo principal de la alta capacidad de retención de agua). La baja temperatura favorece la acumulación de materia orgánica, formando un complejo muy fuerte entre la parte mineral y la parte orgánica de acuerdo con (LLambi et al., 2012). En la siguiente tabla 1 se puede observar las características del suelo de la zona en estudio.

Tabla 1

Características de los suelos de la quebrada Honda alta

Tipo de relieve	Material parental	Unidades cartográficas y componentes taxonómicos	Número de perfil	%	Principales características	Símbolo
Espinazos, crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas arenosas y limo arcillosas	Typic Dystrocypts (franco arenoso, arenosa franca) Humic Dystrocryepts (franco arenoso, franco arcillo arenosa, franco arcilloso)	CU-132 EB-23	45 25	Relieve fuertemente quebrado a fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 25%; suelos moderadamente profundos a muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas a gruesas, reacción extremadamente ácida, alta saturación de aluminio y fertilidad baja	MEFe
Campos morrénicos	Depósitos clásticos glaciogénicos de ceniza volcánica y orgánicos	Lithic Melanocryands (Franco arenosa) Lithic Cryofolists (arcillosa, franco arcilloso)	MU-31 CU-154	55 40	Relieve ligero a moderadamente escarpado, con pendientes de 25 a 75%; suelos superficiales, bien drenados, con texturas finas a gruesas y presencia de materiales orgánicos, reacción extremadamente a muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y fertilidad baja	MEUf
Glacis de acumulación y lomas	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clástica arenosas, limo	Typic Hapludands (Franco arenosa, arenosa franca)	CC-284 MU-11 MU-12	30 30 30	Relieve moderado a fuertemente inclinado, con pendientes de 7-12 y 12-25%, algunos sectores están afectados por erosión hídrica de grado ligero;	MGTd

	arcillosas. En algunos sectores materiales orgánicos	Pachic Melanudands (Franco arenosa) Humic Lithic Dystrudepts (arcillo arenosa, franco arcillo arenosa)			suelos profundos a superficiales, bien drenados con texturas moderadamente finas a gruesas, reacción muy fuerte a fuertemente ácida, alta a moderada saturación de aluminio y fertilidad baja a moderada	
Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limo arcillosas y arenosas	Humic Lithic (franca, arcillosa) Dystrudepts Andic Dystridepts (Franco arenosa, franco arcilloso)	CU-107	60	Relieve fuertemente empinado con pendientes superiores a 75%; suelos superficiales a profundos, bien a excesivamente drenados, de texturas medias a moderadamente gruesas, reacción extremada a muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y fertilidad moderada a baja	MGSg
			CU-108	30		

Fuente: Páez (2020)

Cobertura Vegetal

El páramo Sumapaz cuenta con una gran biodiversidad vegetal, una de las especies vegetales que mejor representa a este paramo es el frailejón, un género de Espeletia. Esta planta se encuentra de varios tipos, pero el más común es el *Espeletia grandiflora*, el cual es la variedad que alcanza mayor altura la cual varía entre 10 y 12 m.

De igual manera, en el páramo se encuentran formas vegetales propias de la jungla altoandina, que suben hasta 3500 m de altura. Recorre los cañones y laderas protegidas del hielo y el viento hasta formar bosques muy desarrollados en estas altitudes y condiciones climáticas muy especiales. Estos bosques están formados por encenillos, palmas y muchas otras plantas, además de arbustos esparcidos en la parte más clara (Ospina Rodríguez, 2003). En la figura 5 se muestra el mapa de la cobertura vegetal de la cuenca alta Quebrada Honda; el cual fue desarrollado por Páez y Cortés en el año 2020, a partir de la interpretación de imágenes satelitales y la verificación en campo por medio de 11 recorridos por toda la cuenca y el levantamiento de 10 parcelas de vegetación.

Descripción de Coberturas Quebrada Honda (Cortés-Castillo & Rodríguez-Espinosa, 2021., en imprenta)

Se identificaron tres coberturas principales asociadas a la cuenca alta de la Quebrada Honda (Sibaté - Cundinamarca), las cuales fueron: Arbustal mesófilo alto, Arbustal denso alto y Frailejonal.

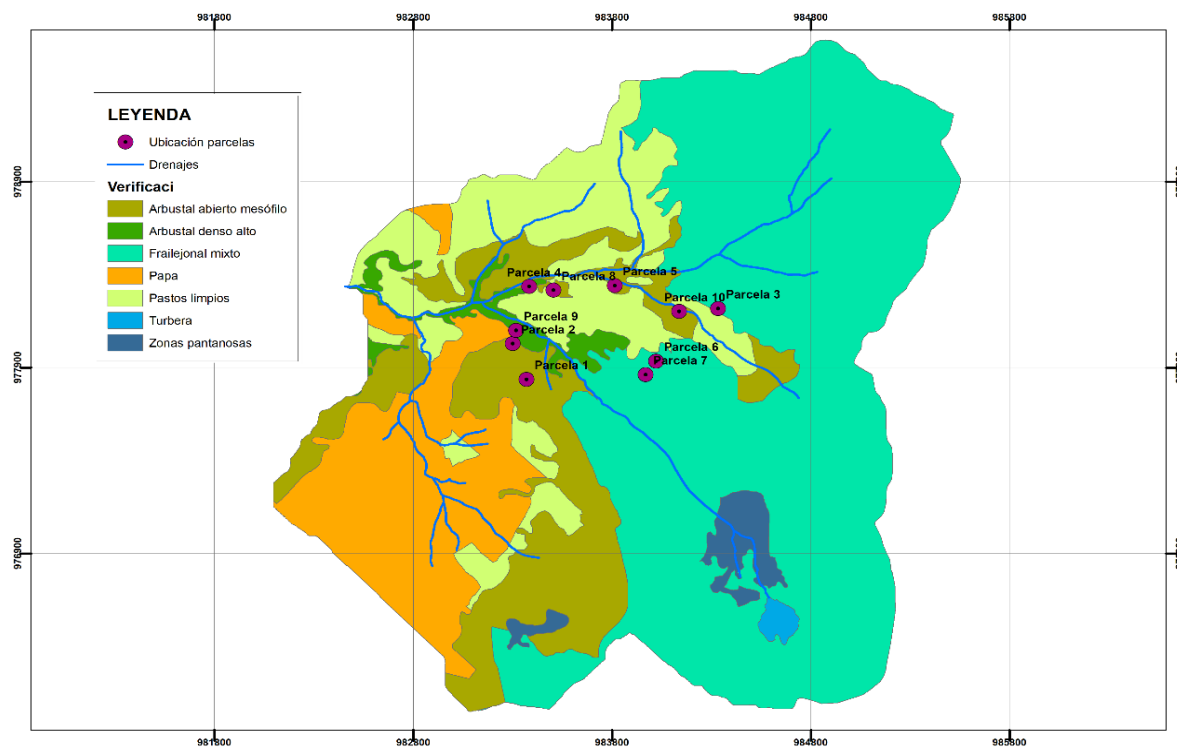
El arbustal mesófilo alto (ArMesA) es un bosque achaparrado en procesos de regeneración, con una altura promedio de 4.1 m. El estrato dominante es el estrato arbustivo con una cobertura del 52%, seguida por el estrato subarbóreo con el 46% de cobertura. Las especies predominantes fueron: *Ugni myricoides*, *Macleania rupestris*, *Weinmannia* sp., *Clethra fimbriata*, *Hesperomeles* cf. *Goudotiana*, determinadas a partir del índice de predominio fisionómico (IPF).

Arbustal denso alto (ArDenA) es un bosque achaparrado conservado, con una altura promedio de 4.5 m. El estrato dominante es el estrato subarbóreo con una cobertura del 57.8%, seguida por el estrato arbustivo con el 42% de cobertura. Las especies predominantes de acuerdo con el IPF fueron: *Weinmannia* sp., *Macleania rupestris*, *Bucquetia glutinosa* y *Valea stipularis*.

En este sentido, los datos muestran que la cobertura del arbustal mesófilo presenta un dosel abierto razón por la cual el estrato predominante es el arbustivo que se encuentra en el sotobosque. Por el contrario, el arbustal denso alto, tuvo un predominio del estrato subarbóreo, que indica un dosel más cerrado con relación a la otra cobertura y por lo tanto un menor ingreso de luz solar hacia la zona del sotobosque, lo que condiciona el establecimiento de elementos de los estratos bajo.

Figura 5

Cobertura Vegetal de la cuenca alta Quebrada Honda



Fuente: Cortés y Páez (2020)

Metodología

La metodología a continuación presentada es de enfoque cuantitativo y su alcance es correlacional puesto que, mediante un análisis estadístico se logró evaluar el grado de relación existente entre las variables identificadas como; humedad del suelo y las variables climatológicas dentro de la cuenca estudiada. Por lo que se realizaron diferentes mediciones en campo; a través de instrumentos de medición de precipitación horizontal y vertical, además de un análisis de laboratorio por medio de muestras de suelo. A continuación, se muestran las fases de la investigación realizada.

Fase de Diseño y Construcción de Instrumentos de Medición de Precipitación Horizontal y Vertical

En esta fase se construyeron 3 pluviómetros, 3 colectores de niebla (2 cilíndricos y uno tipo arpa) los cuales se ubicaron estratégicamente en los tipos de coberturas analizadas (arbustal mesófilo y arbustal denso alto), con el fin de obtener las mediciones necesarias para el análisis realizado. Los instrumentos utilizados en el estudio tuvieron mediciones específicas a la hora de su construcción las cuales permitieron que se llevara a cabo la captación de las precipitaciones. En la siguiente tabla 2 se ilustra el tipo de aparatos realizados con sus respectivas mediciones.

Tabla 2

Aparatos realizados para las mediciones

Aparato	Área de captación (m ²)	Parcela correspondiente
Colector de niebla cilíndrico 1	0.167	Parcela 9, Parcela 2, Parcela 4, Parcela 8
Colector de niebla cilíndrico 2	0.167	Parcela 2
Colector de niebla Arpa	0.9018	Parcela 9
Pluviómetro 1	0.015	Parcela 4, Parcela 8
pluviómetro 2	0.014	Parcela 9, Parcela 2
pluviómetro 3	0.018	Parcela 9

Fuente: Páez (2021)

El pluviómetro es un dispositivo que se utiliza para medir la cantidad de precipitación en un lugar determinado en un momento específico. Por medio de este aparato se puede llegar a conocer cuántos milímetros ha llovido en un lugar determinado. Es un instrumento bastante simple que se usa para recolectar cierta cantidad de agua, con el fin de identificar cuánta lluvia caerá en una determinada zona en un tiempo específico (Castro Maiker, 2021).

El pluviómetro utilizado para el estudio se construyó con un recipiente de aproximadamente 5 galones y un embudo el cual tenía un diámetro específico; por medio de este diámetro se logró calcular los milímetros de precipitación vertical, la cual se midió con recipientes aforados. Posteriormente en la figura 6 se observa el pluviómetro utilizado.

Figura 6

Pluviómetro



Fuente: Páez (2021)

Colector de niebla cilíndrico consiste en una malla metálica de 0.5 m de perímetro y dos aros de soporte de la malla, quedando expuesta totalmente a la circulación de aire, su capacidad para capturar agua tiene la misma eficacia en todas las direcciones de las que proceda la niebla.

Los colectores construidos para las mediciones fueron dos, se realizaron en forma de cilindro con 41 cm de alto y un diámetro de 13 cm, su estructura se realizó con varillas de flejes cubriéndose con una malla atrapa niebla con un ángulo de 35°, se le colocó además una tapa en la parte de arriba para evitar la entrada de agua vertical; en la parte baja contaba de igual manera con un embudo para recolectar el agua, la cual se transportaba por medio de una manguera hasta un recipiente de cinco galones para ser medida por un recipiente aforado. Los colectores se sujetaron a un marco de madera ubicándose de forma suspendida a una altura de dos metros para que no se interrumpiera la llegada de la neblina. En la figura 7 se ilustra el colector de niebla Cilíndrico.

Figura 7

Colector de niebla Cilíndrico



Fuente: Páez (2021)

El colector tipo arpa, está compuesto por un marco de 1 m x 1 m o (05x0,5 m) se instalan en la dirección vertical y paralelo a los lados del marco, con 48 hilos de nylon de 1 mm de espesor, espaciados entre 2 y 3 mm, el uno del otro (Tobón & Morales, 2007).

Se construyó el colector tipo arpa con un marco de madera soportado por una estructura 1.75 de alto y 5 cm de diámetro con unas dimensiones irregulares para darle un efecto de inclinación. La malla es de polietileno en doble capa de 0.5 a 1.5 mm de grosor de la fibra (típicamente 1 mm. Este tipo de colector tiene una mayor cobertura, pero solo tomaba la niebla en un solo sentido frontal en cambio los cilíndricos capturan la niebla a distintos ángulos de entrada. A continuación, en la figura 8 se visualiza el colector de niebla tipo arpa.

Figura 8

Colector de niebla tipo arpa



Fuente: Páez (2021)

Fase de Campo

En esta fase se seleccionaron dos tipos coberturas vegetales de la zona estudiada (Arbustal denso alto y arbustal mesófilo), en cada cobertura se tomaron dos parcelas, para un total de cuatro parcelas.

Las mediciones se realizaron una vez a la semana durante dos meses (mayo y junio de 2021), inicialmente se colocaron los montajes de los pluviómetros y colectores de niebla, los cuales se ubicaron en lugares estratégicos de la zona estudio. Adicionalmente, se registraron las variables climáticas como, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica y humedad del suelo.

Medición de Humedad del Suelo y Variables Climatológicas in situ

La humedad se midió con ayuda del higrómetro, el cual reflejaba el porcentaje de humedad y temperatura del suelo con briofito y sin briofito, este se incorporaba por unos minutos en el suelo hasta que se estabilizará en cada una en las cinco canaletas de cada parcela estudiada. De igual forma con ayuda de un anemómetro se midió la temperatura y velocidad del viento. El barómetro por su lado media la temperatura, humedad relativa y presión barométrica; dentro y fuera de cada una de las parcelas analizadas. En la siguiente tabla 3 se ilustran todos los instrumentos de medición en campo.

Tabla 3

Instrumentos de medición en campo

Tipo de instrumento	Especificaciones Técnicas	Medición
Barómetro	<p> Marca: SUNROAD Número de modelo: SG_B07KWVMQJ2_US Número de parte: FR510 Forma del artículo: Oval Tipo de pantalla: Digital Características especiales: GPS Peso del artículo: 4.64 Onzas Movimiento: Digital Profundidad resistente al agua: 30 Medidores Fuente: (Amazon 2021) </p>	Humedad relativa, y presión barométrica



Anemómetro



Marca: Ambient Weather
 Número de modelo: WM-2
 Dimensiones: 2 x 0.8 x 5.5 pulgadas
 Peso del producto: 2.4 onzas
 Tipo de pantalla: Digital
 Número de modelo del producto: WM-2
 Pilas: 1 Metal de litio
 Fuente: (Amazon 2021)

Velocidad del viento y la temperatura en °C

Higrómetro



Marca: Eastbuy
 Número de parte: KLH-2308
 Peso del producto: 1.6 onzas
 Dimensiones: 8.98 x 6.1 x 1.57 pulgadas
 Fuente de energía: Battery Powered
 Fuente: (Amazon 2021)

Humedad y temperatura del suelo

Recolección y Conservación de Muestras de Suelos y Briófitas

Para el análisis de laboratorio se hizo un cuadro con un tamaño de 25 x 25 cm, con 20 cm de profundidad en cada una de las parcelas evaluadas con fin de extraer las muestras a analizar.

Posteriormente se recolectaron las muestras con una pala, cada muestra recolectada fue de 500gr. En total se recolectaron 6 muestras de suelo (3 con briofito y 3 sin briofito); las cuales fueron dispuestas en bolsas plásticas herméticas debidamente marcadas, evitando con ello la contaminación de los briófitos. Después de esto, las muestras fueron llevadas al laboratorio donde fueron analizadas. En la figura 9 se ilustra las muestras de suelo sin Briofito.

Figura 9

Muestras de suelo sin Briofito



Nota: Elaboración propia

Fase de Laboratorio

Posteriormente, con las muestras llevadas al laboratorio se inició a determinar la capacidad de campo, la cual es conocida como; el agua retenida en el suelo luego de haber sido saturado por un tiempo determinado. La capacidad de campo no es una variable constante para cada tipo de suelo, esta depende del contenido de arcilla- limo, contenido porcentual de materia orgánica y la compactación del suelo. De igual manera también, se identificó el Punto de Marchitez Permanente (PMP) de cada una de las muestras; el cual es el contenido de agua que tiene un suelo cuando la planta ya extrajo toda el agua utilizable. Esta agua no es extraíble por la planta (Petillo et al., s.f.).

Para la realización de esta fase, se saturaron 75 gramos de las muestras de suelo con 20 ml de agua de llave en vasos desechables con un soporte, luego se esperó una hora aproximadamente. Donde después de este tiempo se taparon las muestras con papel vinipel evitando con ello cualquier tipo de contaminación. posteriormente, Se dejaron en el laboratorio durante 48 horas en un lugar fresco. En la figura 10 y 11 se observan los recipientes con las muestras de suelo las cuales fueron saturadas con agua de llave con un soporte en su interior.

Figura 10

Recipientes con las muestras de suelo



Nota: Elaboración propia

Figura 11

Muestras dispuestas con soporte para su drenaje



Nota: Elaboración propia

Luego de las 48 horas se dispuso a realizar un drenaje completo de las muestras con papel filtro, después se procedió a pesar dichas muestras con ayuda de una gramera, la cual permitió el registro del peso generado en un formato. Posterior a esto, se tomaron doce capsulas para incorporar allí 30gr de las muestras drenadas. Estas capsulas fueron dispuestas para secar en el horno del laboratorio junto a los filtros a una temperatura de 105 °C.

Finalizando, se tomaron de nuevo los pesos de las capsulas y filtros ya secos con el fin de realizar los cálculos matemáticos, los cuales permitieron hallar la capacidad de campo y punto de marchitez. En la figura 12 se puede observar cómo después de las 48 horas se drenaron por completo todas las muestras dispuestas

Figura 12

Drenaje completo de las muestras



Nota: Elaboración propia

Respecto a lo anterior expuesto en la figura 13 se ilustran las muestras drenadas las cuales fueron dispuestas en el horno del laboratorio

Figura 13

Muestras drenadas dispuestas en el horno del laboratorio



Nota: Elaboración propia

Fase de Análisis de Resultados

El análisis se realizó mediante la relación entre la humedad, los eventos de lluvia y eventos de niebla, donde mediante regresiones se logró determinar la relación entre las variables climáticas y la humedad del suelo gráficamente; posteriormente para la determinación de la capacidad de retención de la humedad, se realizó por medio de ecuaciones de cálculos las cuales se presentan a continuación.

$$\%HCC = \frac{\text{Peso del suelo a CC} - \text{Peso del suelo seco}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100\%$$

$$\%HPMP = \frac{\%H CC}{1.85}$$

$$\text{Humedad aprovechable (Hu)} = HCC - HPMP$$

(mm) de lámina de agua

$$Hm (mm) = HPMP * Da * Profundidad * 10$$

$$Hm = Humedad (adimensional)$$

$$Da = Densidad aparente del suelo \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$Profundidad = Profundidad del suelo con raíces (cm)$$

Resultados y Discusión

Resultados de Capacidad Máxima de Retención Hídrica del Suelo Medida en Laboratorio

De acuerdo con las muestras de suelo con briofito y sin briofitos analizadas en el laboratorio, se logró analizar en la figura 14 que la humedad media del arbustal mesófilo, fue de 104%, mientras que para el arbustal denso alto fue de 64%. De igual forma en las gráficas de las figuras 15 y 16, en sus resultados hallados se pudo observar que la humedad a capacidad de campo es en promedio del 82% para suelo con briofito y del 73% para suelo sin briofito, e incluso se alcanza a una humedad mayor del 100% en peso para los suelos con briofito debido a la alta capacidad de retención hídrica de estos. Asimismo, se evidencio que la humedad aprovechable de las plantas (Hu) tuvo un mayor porcentaje para el suelo con briofito en la parcela 2 arbustal mesófilo evidenciándose la relación directa con la capacidad de campo en esta cobertura.

Conforme con lo anterior se evidencia que tanto el suelo, como el briofito son muy importantes en la retención hídrica del suelo, es decir la humedad máxima y aprovechable del suelo es mucho mayor en la cobertura arbustal mesófilo, a pesar de que la cobertura arbustal denso alto es una zona más conservada. Cabe decir que la cobertura arbustal mesófilo tiene una extensión de suelo desnudo mínimo, su suelo está cubierto de briofito más grueso y extenso que la otra cobertura evaluada, su vegetación es muy tupida y las copas de sus árboles son bajas, por tal razón los briofitos presentes en su suelo reciben muy poca radiación solar; por lo que según (LLambi et al., 2012) afirma que las plantas de Páramo tienen una adaptabilidad realmente espectacular, capaz de soportar bajas temperaturas nocturnas y alta radiación solar, muchos arbustos de páramo tienen hojas muy pequeñas y muy duras lo cual es una adaptación de las plantas para el exceso de radiación. En la siguiente tabla 4 se ilustran los datos tomados en el laboratorio.

Tabla 4

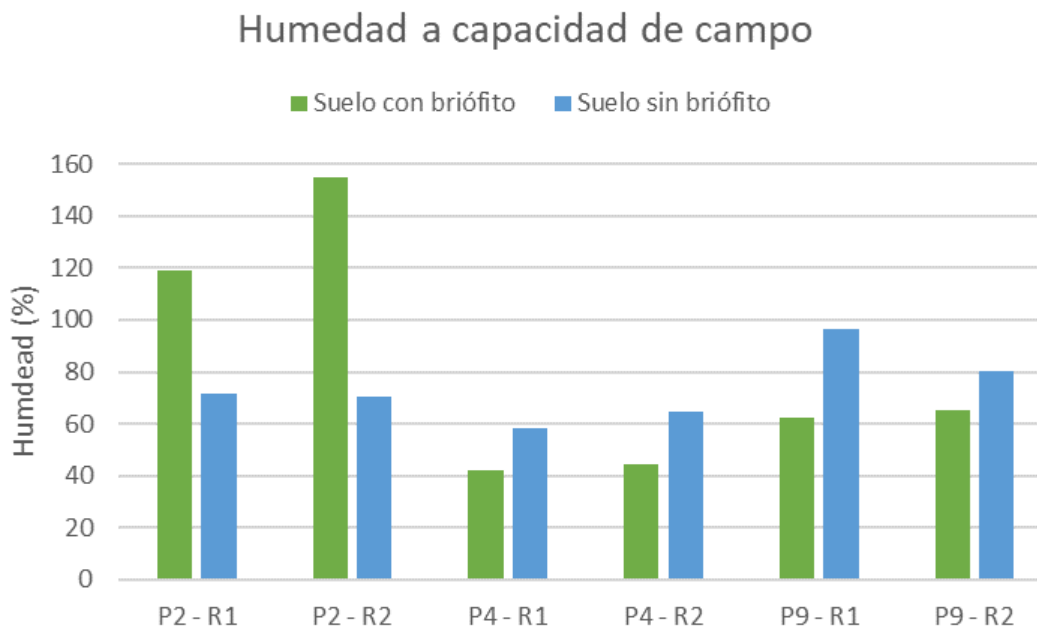
Datos tomados en el laboratorio los cuales permitieron la obtención de la capacidad de campo

Parcela	Hcc (%)	HPMP (%) ²²	Densidad aparente (gr/cm ³)	Profundidad suelo (m)	Hcc (mm)	HPMP (mm)	Hu (mm)	Hu (cm)
P2 - R1	119,2 7	62,05	1,49	0,64	1137,3 5	591,73	545,6	54,6
P2 - R2	154,9 4	80,84	1,49	0,64	1477,4 9	770,86	706,6	70,7
P4 - R1	42,33	22,08	1,49	0,64	403,62	210,59	193,0	19,3
P4 - R2	44,49	23,21	1,49	0,64	424,22	221,33	202,9	20,3
P9 - R1	62,44	32,57	1,49	0,64	595,38	310,63	284,7	28,5
P9 - R2	65,40	34,12	1,49	0,64	623,67	325,39	298,3	29,8
P2 - R1	71,69	37,40	1,49	0,64	683,66	356,69	327,0	32,7
P2 - R2	70,30	36,68	1,49	0,64	670,39	349,77	320,6	32,1
P4 - R1	58,62	30,58	1,49	0,64	559,00	291,65	267,3	26,7
P4 - R2	64,53	33,67	1,49	0,64	615,38	321,07	294,3	29,4
P9 - R1	96,74	50,47	1,49	0,64	922,54	481,33	441,2	44,1
P9 - R2	80,37	41,93	1,49	0,64	766,36	399,84	366,5	36,7

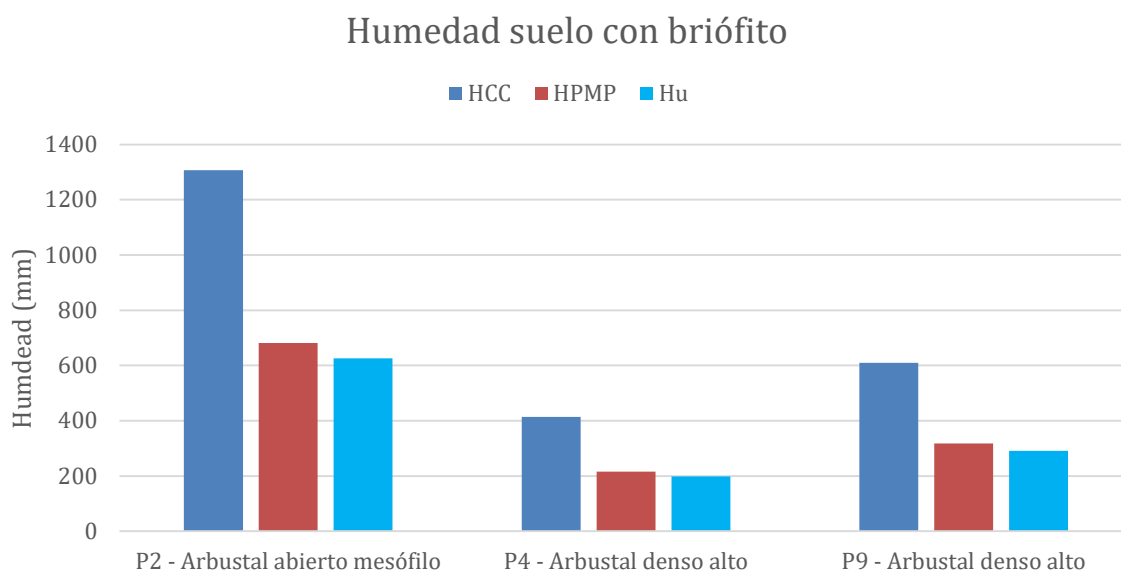
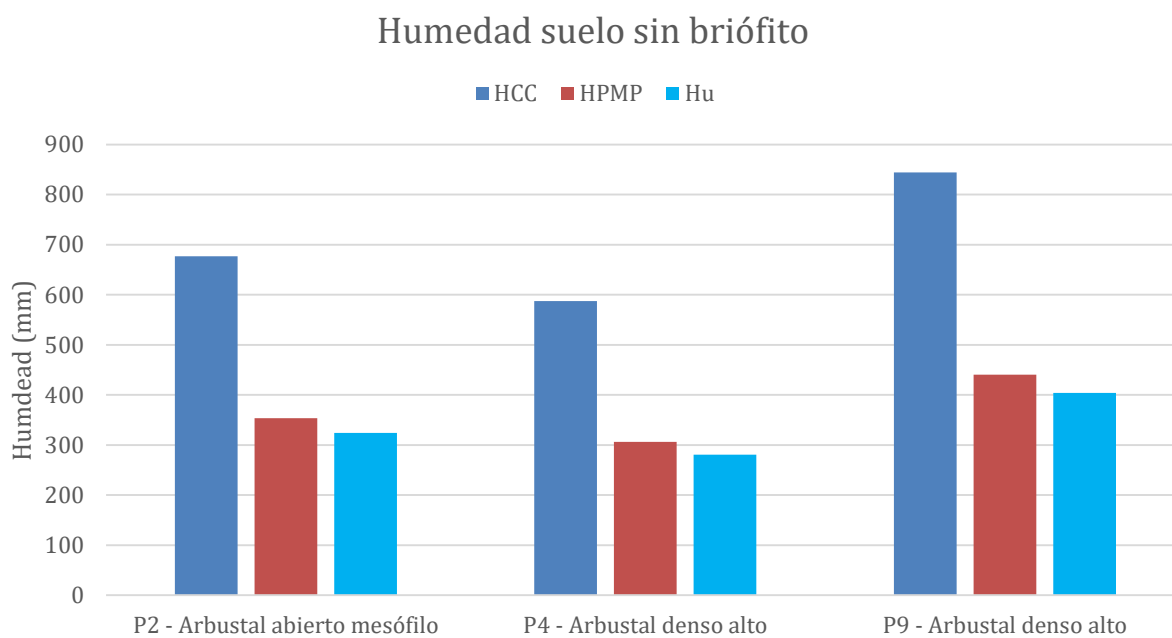
Páez (2021)

Figura 14

Humedad a capacidad de campo



Páez (2021)

Figura 15*Humedad suelo con briófito**Páez (2021)***Figura 16***Humedad del suelo sin briofito**Páez (2021)***Resultados de Medición in situ de Humedad del Suelo y Variables Climatológicas**

Las mediciones en campo de igual manera reflejan una similitud a los resultados obtenidos en el laboratorio ya que, en situ se encontró una humedad entre 49 y 95% en su gran mayoría por encima del 60%, lo que indica que el suelo se encuentra constantemente a humedades cercanas a capacidad de campo. Por otro lado, se observa que la humedad del suelo debajo del briofito y la humedad del suelo desnudo es muy similar, lo que indica que la diferencia no radica en una protección del briofito del suelo, sino en el almacenamiento de agua propio de este.

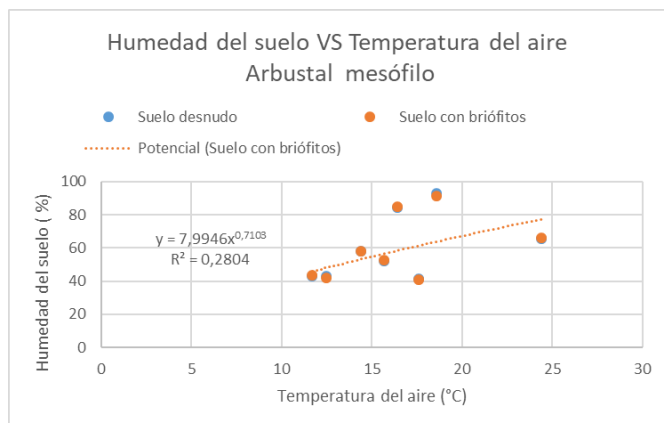
Por otra parte, en las gráficas (17 y 19) resultantes de las mediciones en campo de las variables climatológicas con relación a la humedad del suelo dentro y fuera de la parcela de arbustal mesófilo, se obtuvo una relación potencial directamente proporcional entre la variable climática de la temperatura del aire y la humedad del suelo lo cual, es algo inusual puesto que generalmente a mayor temperatura se evapora más el agua, por lo tanto, debería haber menos humedad. Las gráficas (18 y 20) pertenecientes a las variables climatológicas con relación a la humedad del suelo dentro y fuera de la parcela arbustal denso alto no tuvieron ninguna relación por lo que se demuestra en sus datos tan dispersos. El anterior comportamiento podría explicarse debido a que en la cobertura arbustal mesófilo tiene una vegetación más tupida presentando a su vez un microclima, gracias al tipo de vegetación existente en el páramo; se conserva más la temperatura y la humedad permitiendo que el bosque mantenga ciertas condiciones climáticas, mientras que la cobertura protege al suelo de la radiación solar, principal factor con la evaporación del agua.

Arbustal Mesófilo

Dentro de la Parcela

Figura 17

Humedad del suelo VS Temperatura del Arbustal Mesófilo

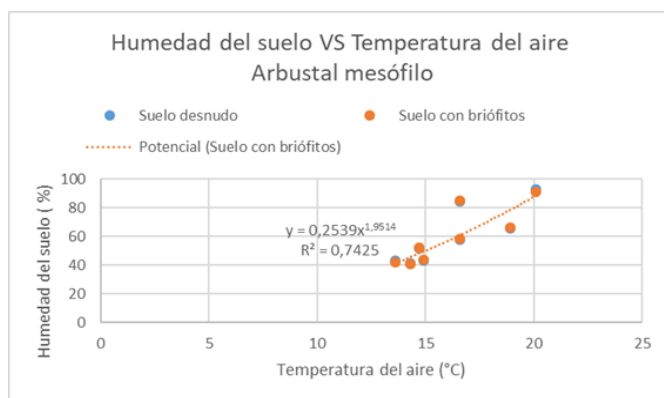


Elaboración propia

Afuera de la parcela

Figura 19

Humedad del suelo VS Temperatura del aire Arbustal mesófilo



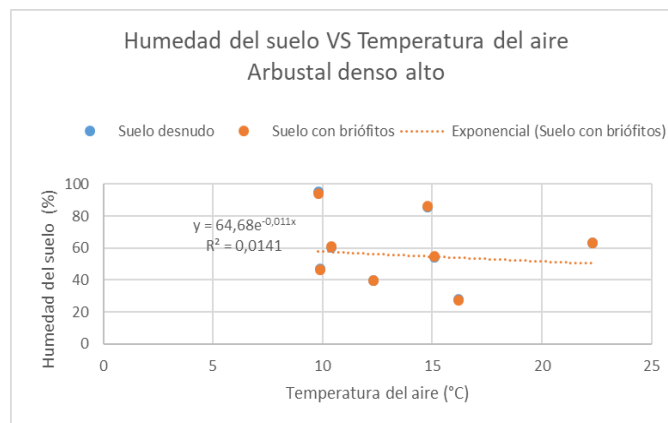
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Dentro de la Parcela

Figura 18

Humedad del suelo VS Temperatura del Arbustal Denso alto

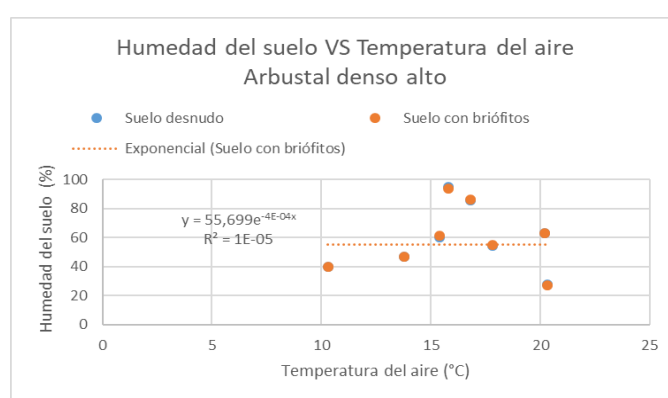


Elaboración propia

Afuera de la parcela

Figura 20

Humedad del suelo VS Temperatura del Arbustal Denso alto



Elaboración propia

Por su parte, la humedad del suelo y la variable de humedad relativa del aire figura (21 y 23) para las parcelas tanto dentro y fuera de la cobertura arbustal mesófilo presentaron una relación potencial, con algo de dispersión. Esto se produce porque en las dos parcelas evaluadas como se mencionaba anteriormente, son muy cerradas por lo que se disminuye la radiación solar hacia la superficie del bosque, es por ello que la evapotranspiración es muy

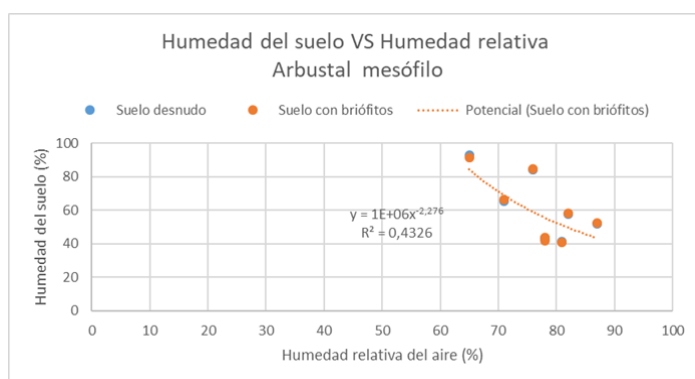
poca en esta vegetación manteniendo la humedad. Al contrario de las parcelas dentro de la cobertura arbustal denso las cuales la variable humedad relativa no tuvo ninguna relación respecto a humedad del suelo. Figuras (22 y 24)

Arbustal Mesófilo

Dentro de la Parcela

Figura 21

Humedad del suelo VS Humedad relativa Arbustal mesófilo

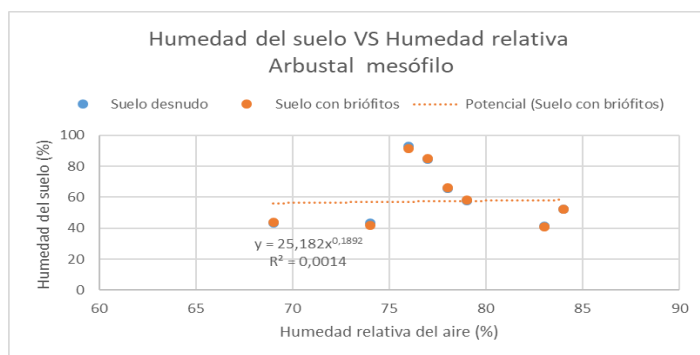


Elaboración propia

Afuera de la parcela

Figura 23

Humedad del suelo VS Humedad relativa Arbustal mesófilo



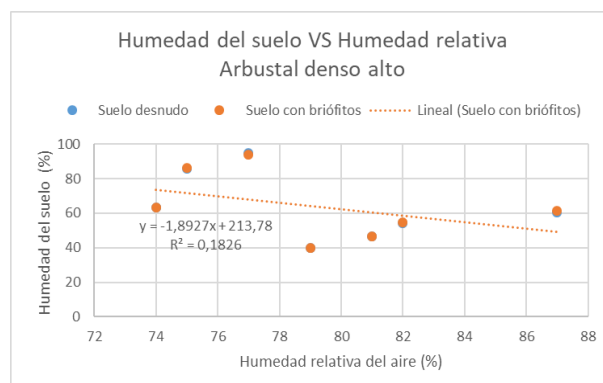
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Dentro de la Parcela

Figura 22

Humedad del suelo VS Humedad relativa Arbustal denso alto

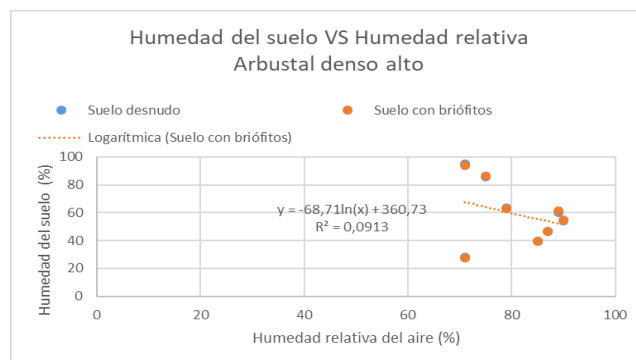


Elaboración propia

Afuera de la parcela

Figura 24

Humedad del suelo VS Humedad relativa Arbustal denso alto



Elaboración propia

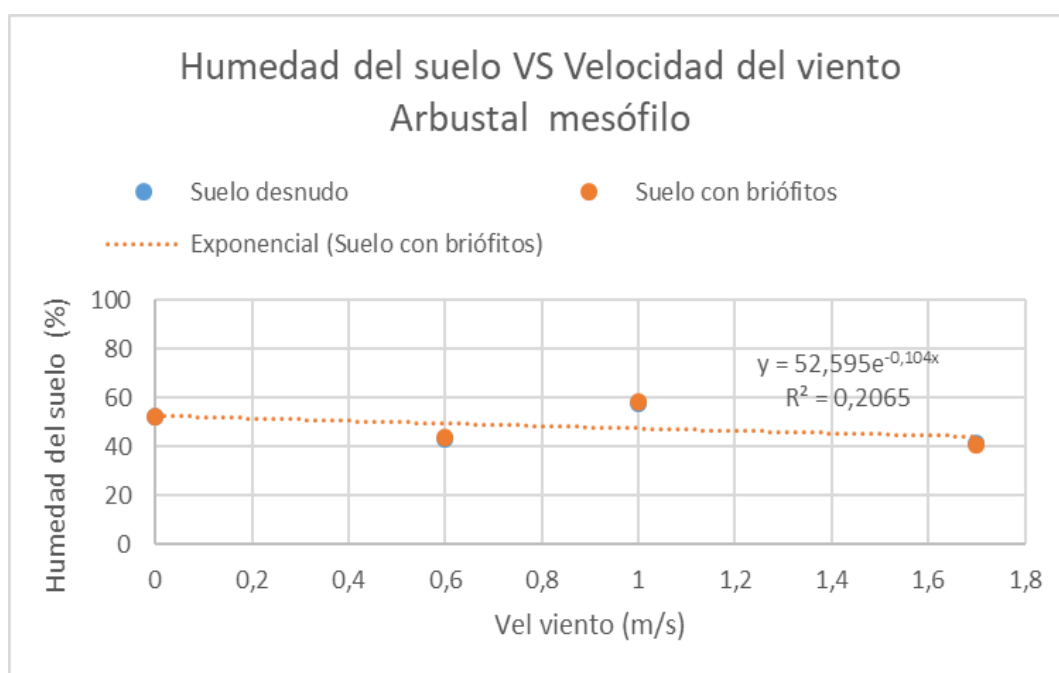
De igual manera se debe mencionar que debido a las características anteriormente nombradas, la cobertura arbustal mesófilo tiene una muy baja velocidad del viento ya que,

cuando el viento atraviesa las coberturas este pierde su fuerza; por lo que lo que se demuestra en las gráficas (25,26,27); que no existe ninguna relación entre la humedad del suelo y esta variable. La temperatura del suelo y la humedad del suelo tuvieron una relación de tipo logarítmica, pero con un R^2 muy bajo lo cual indica que esta variable no influye en la retención hídrica, según lo indican las gráficas (28 y 29).

Arbustal Mesófilo

Figura 25

Humedad del suelo VS Velocidad del viento Arbustal mesófilo



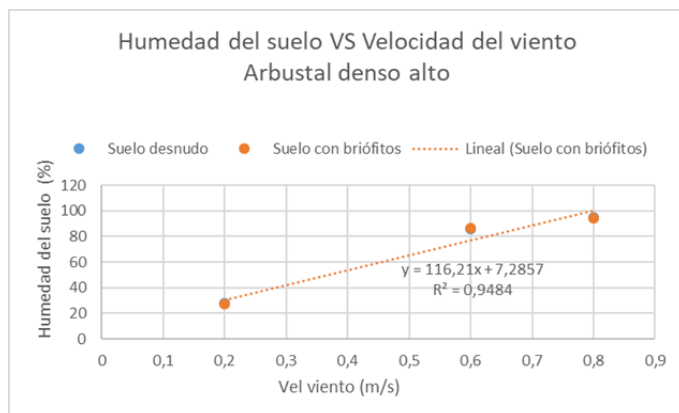
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Dentro de la Parcela

Figura 26

Humedad del suelo VS Velocidad del viento Arbustal denso alto



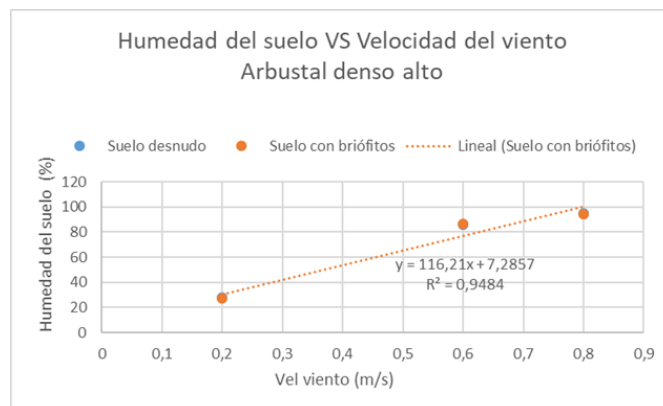
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Afuera de la parcela

Figura 27

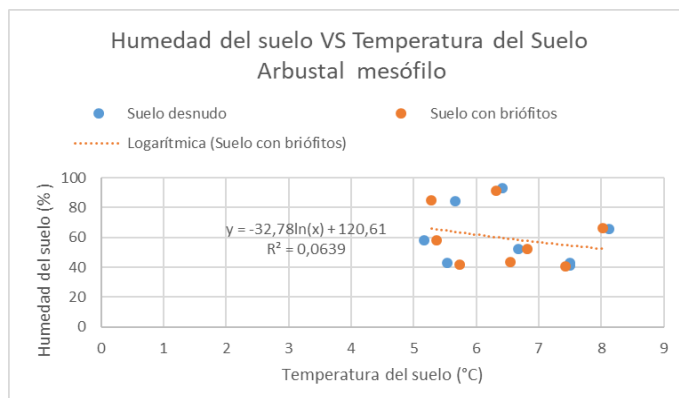
Humedad del suelo VS Velocidad del viento Arbustal denso alto



Elaboración propia

Arbustal Mesófilo**Figura 28**

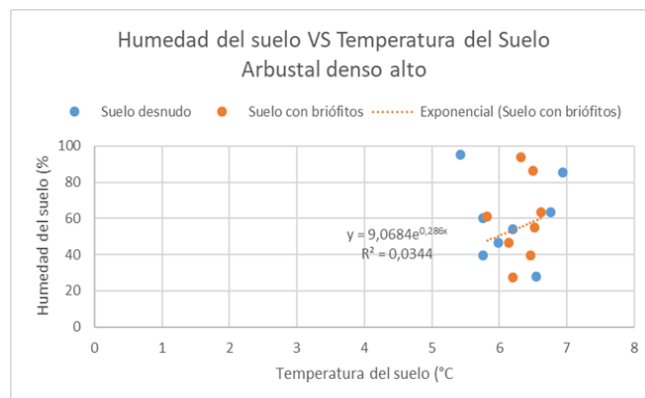
Humedad del suelo VS Temperatura del Suelo Arbustal mesófilo



Elaboración propia

Arbustal denso alto**Figura 29**

Humedad del suelo VS Temperatura del Suelo Arbustal denso alto



Elaboración propia

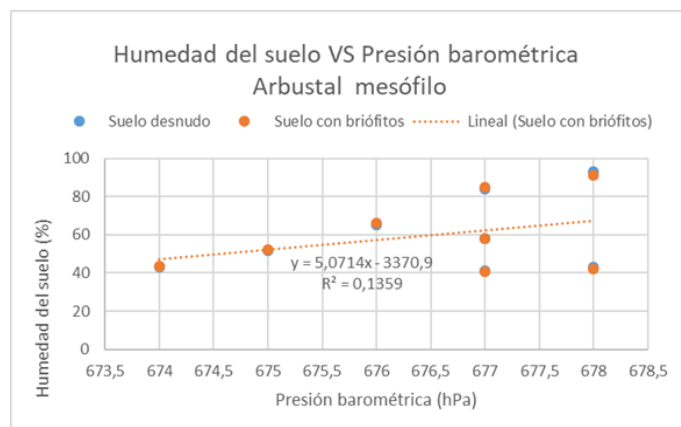
La presión barométrica de acuerdo a las gráficas (30,31,32 y 33) en ninguna de las dos coberturas tuvieron relación alguna con la humedad del suelo ya que, la altitud es la misma para todas las parcelas evaluadas.

Arbustal Mesófilo

Dentro de la Parcela

Figura 30

Humedad del suelo VS Presión barométrica Arbustal mesófilo



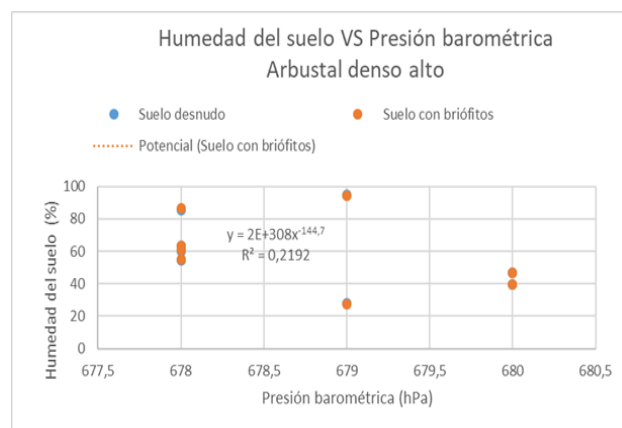
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Dentro de la Parcela

Figura 31

Humedad del suelo VS Presión barométrica Arbustal denso alto



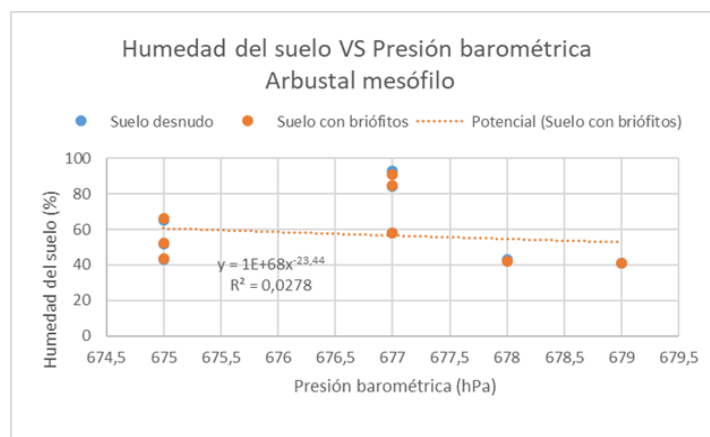
Elaboración propia

Arbustal Mesófilo

Afuera de la parcela

Figura 32

Humedad del suelo VS Presión barométrica Arbustal mesófilo



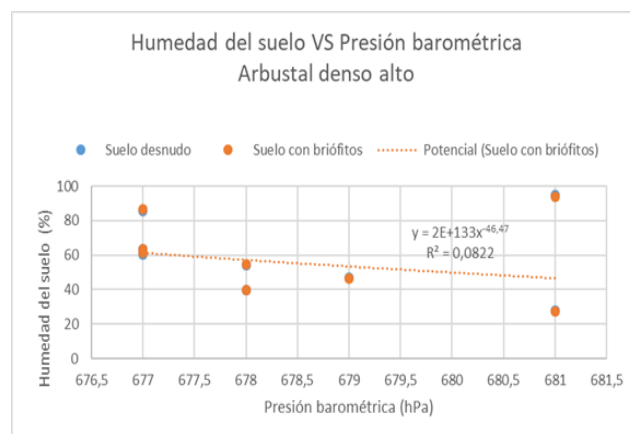
Elaboración propia

Arbustal denso alto

Afuera de la parcela

Figura 33

Humedad del suelo VS Presión barométrica Arbustal denso alto



Elaboración propia

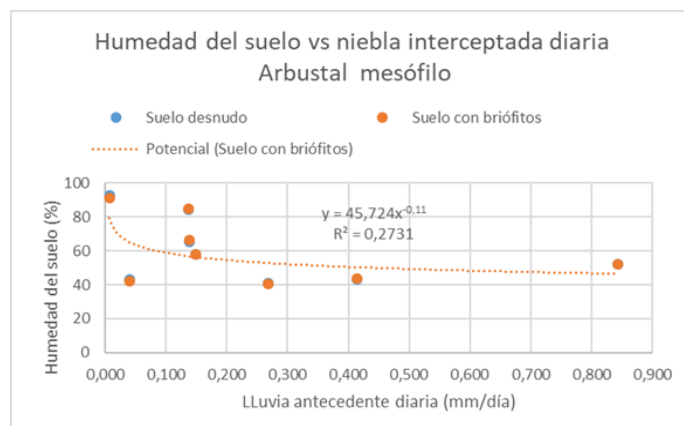
La niebla interceptada diaria y la niebla interceptada total de acuerdo a las gráficas (34,35,36,37) tuvieron solo una mínima relación de tipo potencial inversamente proporcional

con la humedad del suelo, para la cobertura arbustal mesófilo y para la cobertura arbustal denso alto no existió ninguna relación.

Arbustal Mesófilo

Figura 34

Humedad del suelo vs niebla interceptada diaria Arbustal mesófilo

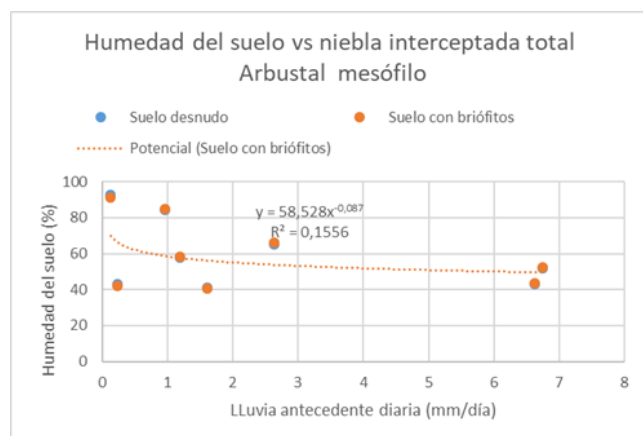


Elaboración propia

Arbustal Mesófilo

Figura 36

Humedad del suelo vs niebla interceptada diaria Arbustal Mesófilo

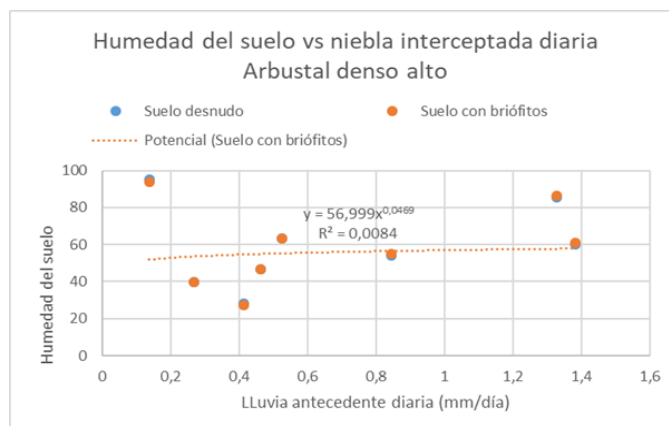


Elaboración propia

Arbustal denso alto

Figura 35

Humedad del suelo vs niebla interceptada diaria Arbustal denso alto

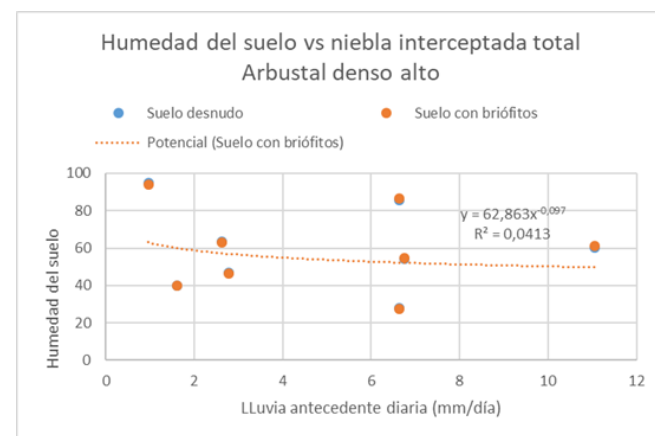


Elaboración propia

Arbustal denso alto

Figura 37

Humedad del suelo vs niebla interceptada diaria Arbustal denso alto



Elaboración propia

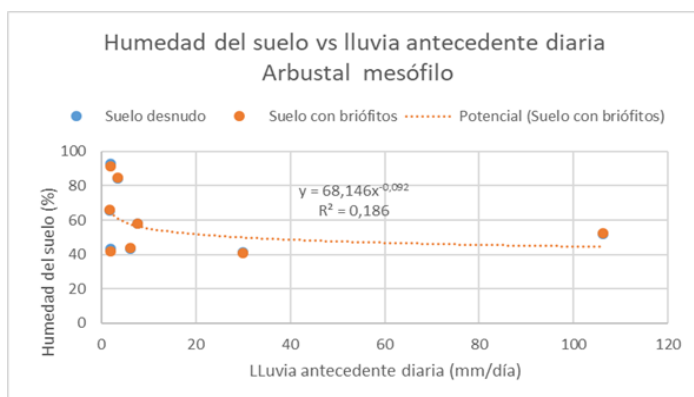
Por su parte, las variables lluvia antecedente diaria y lluvia antecedente total, según lo indican las gráficas (38,39,40,41) no tuvieron relación en ninguna de las coberturas. Esto es debido a que el tiempo transcurrido entre mediciones fue entre una y dos semanas, un periodo

muy largo para identificar la compleja interacción y respuesta de la humedad del suelo con estas variables climáticas. Además, se debe tener en cuenta, que la dinámica propia de evapotranspiración de las plantas está muy regulada por lo que no se observa relación con cambios climáticos tan inmediatos (horas) ni tan largos (semanas).

Arbustal Mesófilo

Figura 38

Humedad del suelo vs lluvia antecedente diaria Arbustal mesófilo

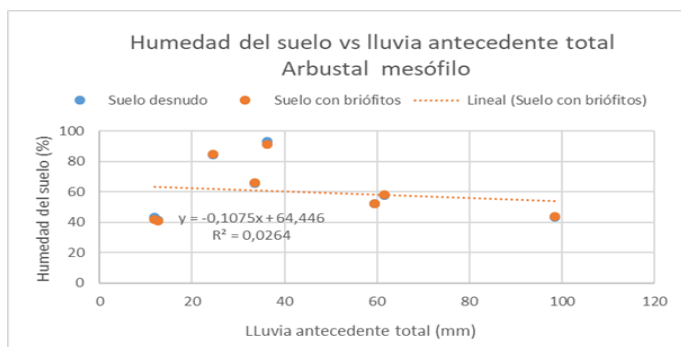


Elaboración propia

Arbustal Mesófilo

Figura 40

Humedad del suelo vs lluvia antecedente diaria Arbustal mesófilo

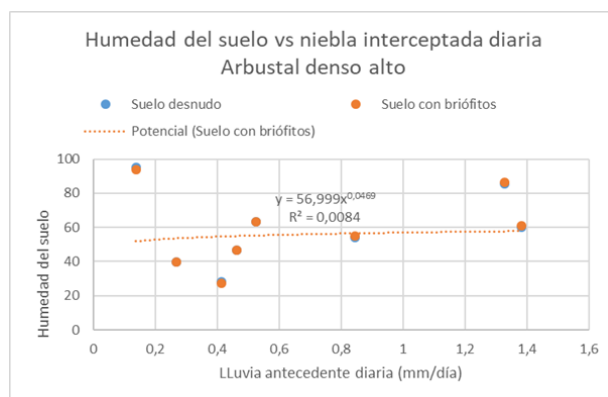


Elaboración propia

Arbustal denso alto

Figura 39

Humedad del suelo vs lluvia antecedente diaria Arbustal denso alto

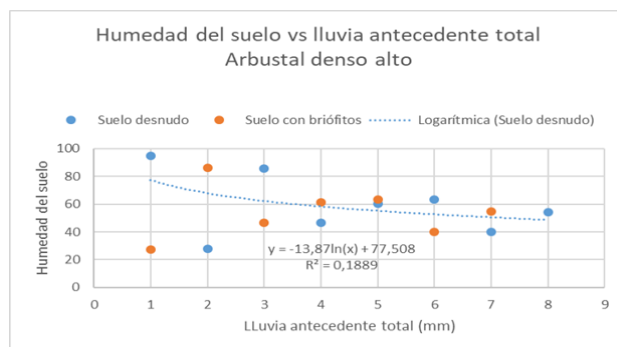


Elaboración propia

Arbustal denso alto

Figura 41

Humedad del suelo vs lluvia antecedente diaria Arbustal denso alto



Elaboración propia

A continuación, en las figuras 42,43,44 y 45 se ilustran las coberturas analizadas en el estudio realizado con las parcelas 2 y 9, las cuales tenían unas canaletas de medición pluvial.

Figura 42

Parcela 2 cobertura Arbustal mesófilo



Elaboración propia

Figura 43

Parcela 2 cobertura Arbustal mesófilo



Elaboración propia

Figura 44

Parcela 9 Cobertura arbustal denso Alto



Elaboración propia

Figura 45

Parcela 9 Cobertura arbustal denso Alto



Elaboración propia

Conclusiones y Recomendaciones

Las propiedades físicas presentes en los suelos de paramo son únicas, ya que en comparación con otros suelos sus características especiales como capacidad de retención, hídrica, textura y porosidad les permiten una mayor absorción de agua. Es por ello además que los páramos son considerados esponjas de agua demostrando a su vez su importancia como regulador hídrico en las cuencas hidrográficas.

Para esta investigación su principal objetivo fue el analizar la capacidad de retención hídrica de las dos coberturas estudiadas; por lo cual se pudo observar mediante un análisis estadístico que, la humedad del suelo se encuentra la mayoría de las veces por encima del 60% lo que indica, que este suelo se encuentra constantemente húmedo. De la misma forma se encontró que dicha humedad no depende del briófito en su totalidad, si no de las características del mismo las cuales permite que se retenga más agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio, de las dos coberturas analizadas en la zona de estudio, se pudo hallar que el suelo con briofitos alcanzo una humedad mayor al 100% para la cobertura arbustal mesófilo; evidenciando con ello la importancia que tiene el briofito para la retención hídrica de este suelo.

Según el estudio realizado las variables climáticas que tienen relación con la capacidad hídrica del suelo, son la temperatura del aire y la humedad relativa las cuales de acuerdo al análisis estadístico tuvieron una relación potencial directamente proporcional en la cobertura arbustal mesófilo. Esta relación se debe al tipo de vegetación existente allí, la cual es muy cerrada formando un microclima que mantiene la humedad y su vez hace que la evapotranspiración sea muy mínima.

Finalizando, se quiere sugerir que para las próximas investigaciones de las variables climáticas; niebla interceptada y lluvia antecedente, sus mediciones se realicen de manera seguida a las realizadas en el anterior trabajo; con el fin de que se logre evidenciar el impacto que tiene la lluvia sobre la humedad del suelo.

Bibliografías

Acero-Rodríguez, M., & Vargas, Y. L. (2016). Caracterización de una turbera de sphagnum l. asociada al bosque montano en Mérida, Venezuela. *ACTA BOT. VENEZ*, 39(2), 204–230.

ARIAS BERNAL, Á. (2011). *Humedales del Territorio CAR Consolidación del Sistema de Humedales de la Jurisdicción CAR*.

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5adf57a6d882c.pdf>

Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente - AIDA. (2013). *Qué son los páramos y qué puedes hacer para protegerlos? - Red de Desarrollo Sostenible de Colombia*.

<https://www.rds.org.co/es/novedades/que-son-los-paramos-y-que-puedes-hacer-para-protegerlos>

Beltrán Sarmiento, R. (2010). *¿Qué pasa en el páramo de Sumapaz? análisis de un problema ambiental*. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/2140>

Borda Adriel, P. N. (2016). *BOLETIN DE PRONOSTICO DE RIESGOS AGROCLIMATICOS PARA LOS CULTIVOS DE PAPA, QUINUA, CEBADA Y HABA* (Vol. 02).

<http://www.senamhi.gob.pe>

Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (s.f.). *HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD*.

Calvache, M., & Vallejo, L. (s.f.). *RETENSION DE AGUA EN SUELOS DE PARAMO CON DIFERENTE COVERTURA VEGETAL*. S.F. . Retrieved August 21, 2021, from https://www.academia.edu/9870335/RETENSION_DE_AGUA_EN_SUELOS_DE_PARAMO_CON_DIFERENTE_COVERTURA_VEGETAL

Castro Maiker. (2021). *PLUVIÓMETRO: características, importancia, tipos y más*.

<https://magicanaturaleza.com/c-lluvia/pluviometro/>

Corell Custardoy, D. (2015). *Estudio estadístico de la potencialidad de uso del agua de niebla como recurso hídrico en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica*.

<https://doi.org/10.4995/THESIS/10251/48523>

Corell David, E. E. V. J. A. (2020). *OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE LA NIEBLA EN EL MONTNEGRE Y EN OTROS LUGARES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO* .

<https://www.divulgameteo.es/uploads/Captación-niebla-Mediterráneo.pdf>

Daza Torres, M. C., Hernández Flórez, F., & Triana, F. A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7189–7200.

<https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42642>

Díaz Granados, M. A., Navarrete González, J. D., & Suárez López, T. (2005). *Páramos: Hidrosistemas Sensibles*.

González Barrios, J. L., & González Cervantes, G. (2012). *Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas*.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000100002

Hofstede, R. (2001). *EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL PÁRAMO*.

Hofstede Robert. (1997). *La Importancia Hídrica del Páramo y Aspectos de su Manejo Por: Robert Hofstede (Coordinador Proyecto sobre la Ecología del Páramo y Bosques Andinos, EcoPar)*.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia. (2013).

Páramo de Sumapaz, El Páramo Más Grande del Planeta - Red de Desarrollo Sostenible de Colombia. <https://www.rds.org.co/es/novedades/paramo-de-sumapaz-el-paramo-mas-grande-del-planeta>

Ivanova, Y., & Marín-Arévalo, L. C. (2021). Estudio de afectación del servicio ecosistémico de regulación hídrica por actividades de agricultura en la cuenca del río Gachaneca I, páramo Rabanal. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 27–36. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.88051>

LLambi, L. D., Soto, A., Celleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología*,

hidrología y suelos de páramos - PDF Free Download. <http://docplayer.es/51581548-Ecologia-hidrologia-y-suelos-de-paramos.html>

Macarrón, J. F. (2020). *Diccionario de La Astronomía PDF.*

<https://es.scribd.com/document/375951021/Diccionario-de-la-Astronomia-pdf>

Mena, P. A., Josse, C., & Medina, G. (2000). *LOS SUELOS DEL PÁRAMO.*

MERCHÁN JULIA B., ÁLVAREZ JAVIER G., & DELGADO MIRYAM V. (2011). *Retención de agua en musgos de páramo de los municipios de Siachoque, Toca y Pesca (Boyacá) .*

<http://docplayer.es/15043238-Resumen-julia-b-merchan-gaitan-1-javier-giovanni-alvarez-herrera-1-3-miryam-v-delgado-merchan-2.html>

Ministerio de Ambiente. (2021). *Parque Nacional Natural Sumapaz | Parques Nacionales Naturales de Colombia.* <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-sumapaz/>

Morales Baquero, C. P., Ospino Cerpa, J. D., Jiménez Vásquez, J. A., Berbén Henríquez, A. M., & Negritto, M. A. (2017). *BRIÓFITOS: UN MUNDO EN MINIATURA AUTORES Y EDITORES CONTENIDO.*

Morales Rivas Mónica, Otero García Javier, van der Hammen Thomas, Torres Perdígón Andrea, Cadena Vargas Camilo Esteban, Pedraza Peñaloza Carlos Alberto, Rodríguez Eraso Nelly, Franco Aguilera Carol Andrea, Betancourth Suárez Juan Carlos, Olaya Ospina Édgar, Posada Gilede Ernesto, & Cárdenas Valencia Luciano. (2007). *Atlas de páramos de Colombia.* <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/1291-atlas-paramos-colombia>

Navarrete González, J. D. (2004). *HIDROLOGIA DE PARAMOS. MODELACIÓN HIDROLOGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BLANCO EN AvSWAT2000.*

Olivares, B. O., Cortez, A., Rodríguez, M. F., Rey, J. C., & Lobo, D. (2016). Information system development of an alternative raingauge network in rural areas. Case state Anzoategui, Venezuela. *Acta Universitaria*, 26(4), 44–55. <https://doi.org/10.15174/AU.2016.961>

- Orlando Olivares, B., Cortez, A., Rodríguez, M. F., Rey, J. C., & Lobo, D. (2016). *Information system development of an alternative raingauge network in rural areas. Case state Anzoategui, Venezuela*. 26(4), 44–55. <https://doi.org/10.15174/au.2016.961>
- Ospina, D. R., & Rodríguez, C. (2011). *GUÍA DIVULGATIVA DE CRITERIOS PARA LA DELIMITACIÓN DE PÁRAMOS DE COLOMBIA*. [http://www.humboldt.org.co/images/Atlas de paramos/Guia_delimitacion_paramos.pdf](http://www.humboldt.org.co/images/Atlas_de_paramos/Guia_delimitacion_paramos.pdf)
- Ospina E, D. (2016). *La sequía en Colombia, y los musgos como posible solución ...* [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3309/Artículo. La sequia en Colombia y los musgos como posible solución en productos de diseño.pdf?sequence=2](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3309/Artículo.La%20sequia%20en%20Colombia%20y%20los%20musgos%20como%20posible%20soluci%C3%B3n%20en%20productos%20de%20dise%C3%B1o.pdf?sequence=2)
- Ospina Rodríguez, M. (2003). *SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE COLOMBIA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS* www.sogeocol.edu.co *EL PARAMO DE SUMAPAZ UN ECOSISTEMA ESTRATÉGICO PARA BOGOTÁ*. www.sogeocol.edu.co
- Pérez Díaz, S. O., & Rodríguez Rodríguez, P. A. (2020). *Determinación de indicadores de calidad de suelo para la conservación de la cuenca alta del Río Teusacá*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21474>
- Perez, S., & Rodriguez, P. andra. (2020). *DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO TEUSACÁ*.
- Petillo, G., Puppo, M. ;, Hayashi, L. ;, & Morales, R. ; (s.f.). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*.
- Pinzón Pinto A. (2016). *EFFECTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DE PARÁMO POR LA ACCION ANTROPICA*. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/61/51
- Ramírez Rodríguez, C. R., Duarte Colmenares, C. H., & Galeano Ardila, J. O. [. (2012). *Estudio de suelos y su relación con las plantas en el páramo el verjón ubicado en el municipio de choachí cundinamarca - Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5113364>
- Rucks, L., García., F., Kaplán, A., León., J. P. de, & Hill, M. (2004). *FACULTAD DE AGRONOMÍA*

Propiedades Físicas del Suelo.

Sandoval Bayona E, & García Rodríguez K. (2018). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DEFORESTACIÓN DEL PÁRAMO DE SUMAPAZ, POR MEDIO DE IMÁGENES LANDSAT TM Y LANDSAT OLI/TIRS DEL AÑO 2002 AL 2017.*

TOBÓN, C., & MORALES, E. G. G. (2007). CAPACIDAD DE INTERCEPTACIÓN DE LA NIEBLA POR LA VEGETACIÓN DE LOS PÁRAMOS ANDINOS. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 0(15). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9324>

Vargas, O., Jaimes, V., Castellanos, L., & Mora, J. (2004). *PROYECTO PARAMO ANDINO PROPUESTA DE ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN PARA LOS PÁRAMOS DE COLOMBIA.*

https://www.researchgate.net/publication/262914054_PROYECTO_PARAMO_ANDINO_PROPUESTA_DE_ACTIVIDADES_DE_INVESTIGACION_PARA_LOS_PARAMOS_DE_COLOMBIA

Villacís, M. (2017). *Aporte de precipitación horizontal en diferentes tipos de vegetación de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.*

Zembrano Jhon. (2020). *Punto de marchitez permanente - RIEGOS Y DRENAJES INGENIERIA EN ZOOTECNIA [24 Diciembre, 2020] - StuDocu.*

<https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/riegos-y-drenajes/punto-de-marchitez-permanente/10797457>