

**Revisión sistemática de literatura acerca de los parámetros del suelo que afectan la
cantidad de agua en los páramos andinos.**

Yeni Paola Hernández Hernández

Carol Andrea Plata Jiménez

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director

Isabel Cristina Dominguez Rivera

PhD en Agricultura, Alimentación y Desarrollo Rural.

Codirector

Sebastian Elias Patiño Gutierrez

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Dedico primeramente este trabajo a Dios, como mi guía espiritual, me ha ayudado a seguir adelante a pesar de las dificultades y me ha acompañado incondicionalmente en la toma de decisiones.

También dedico este trabajo a mis amados padres, que me dieron la vida, me formaron en valores que forjaron mi carácter, su apoyo y sacrificio fueron fundamentales para cumplimiento de esta meta.

A mi hermana que ha sido mi inspiración, su amor han sido esencial en mi vida.

A mi familia en general que celebra cada momento especial en mi vida, su amor incondicional me ha permitido ser fuerte ante la adversidad.

Y finalmente a aquellas personas que han estado involucradas en mi proceso de formación profesional, por enseñarme, guiarme y apoyarme.

Carol Andrea Plata Jimenez

Este trabajo lo dedico a mis padres por su inmenso apoyo para cumplir este sueño, por sus grandes sacrificios para ayudarme a salir adelante, su confianza en mí y toda la paciencia que han tenido a lo largo de este camino. A mis amigos por ser parte fundamental en este proceso, por todas las experiencias vividas y las grandes enseñanzas que me dejaron.

Yeni Paola Hernández Hernández

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a la Universidad Industrial de Santander, por ofrecer tan buena labor en su misión para formar excelentes profesionales y por permitir el acceso a bases de datos fundamentales para la elaboración de este trabajo, a la profesora Isabel Cristina Domínguez Rivera y a Sebastián Elías Patiño Gutiérrez que contribuyeron en el desarrollo de este trabajo.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivo Especifico	16
2. Marco de Referencia	17
3. Metodología	19
3.1 Búsqueda de artículos científicos.....	19
3.2 Extracción de la información	21
3.3 Análisis de datos	21
4. Resultados y Discusión	22
4.1 Estado actual de las investigaciones.	22
4.2 Principales objetivos identificados en la revisión sistemática de literatura.....	23
4.3 Parámetros de interés abordados.....	25
4.4 Metodologías identificadas en la revisión sistemática de literatura.....	29
4.4.1 Tipo de muestreo.....	29
4.4.2 Profundidad de muestreo.	31
4.4.3 Tipo de muestras.....	31
4.4.4 Métodos empleados para la medición de parámetros.	33

4.4.5 Ventajas y Limitaciones de las Metodologías encontradas	36
4.4.6 Análisis de datos.	38
4.5 Características de los parámetros hidrofísicos.....	42
5. Conclusiones	45
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	55

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Esquema del proceso de selección.....	20
<i>Figura 2.</i> Publicaciones después del año 2000.....	24
<i>Figura 3.</i> Porcentaje de estudios realizados por país.....	24
<i>Figura 4.</i> Parámetros estudiados.....	30
<i>Figura 5.</i> Parámetros fisicoquímicos para cobertura nativa de páramo a nivel superficial.....	43
<i>Figura 6.</i> Humedad para distintas coberturas a nivel superficial en suelo de páramo.	44
<i>Figura 7.</i> Densidad aparente para distintas coberturas a nivel superficial en suelo de páramo. ..	45

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Análisis en el tiempo de las publicaciones.	55
Apéndice B. Análisis de los objetivos de las investigaciones.	61
Apéndice C. Parámetros hidrofísicos estudiados en las investigaciones.	72
Apéndice D. Tipo de muestreo en las investigaciones.	84
Apéndice E. Profundidad de muestreo y peso de las muestras alteradas en las investigaciones.	91
Apéndice F. Características de las muestras inalteradas en las investigaciones.	96
Apéndice G. Metodologías de medición de las investigaciones.	102
Apéndice H. Características del análisis de los datos en las investigaciones.	113
Apéndice I. Tiempo empleado para el muestreo en campo y toma de muestras reportado por las investigaciones.	120
Apéndice J. Valores de carbono orgánico, materia orgánica y humedad para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.	123
Apéndice K. Valores de retención a presiones de 33 kPa y 1500 kPa para cobertura vegetación nativa a nivel superficial.	126
Apéndice L. Valores de humedad para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.	127
Apéndice M. Valores de humedad para cobertura de pastizales y pradera a nivel superficial. ...	128
Apéndice N. Valores de humedad para cobertura de forestación a nivel superficial.	129
Apéndice O. Valores de humedad para cobertura de cultivos a nivel superficial.	130

Apéndice P. Valores de densidad aparente para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.....	131
Apéndice Q. Valores de densidad aparente para cobertura de pastizales y pradera a nivel superficial.....	133
Apéndice R. Valores de densidad aparente para cobertura de forestación a nivel superficial. ..	134
Apéndice S. Valores de densidad aparente para cobertura de preparación del suelo a nivel superficial.....	135
Apéndice T. Valores de densidad aparente para cobertura de cultivos a nivel superficial.....	136

Resumen

Título: Revisión sistemática de literatura acerca de los parámetros del suelo que afectan la cantidad de agua en los páramos andinos.*

Autores: Yeni Paola Hernández Hernández
Carol Andrea Plata Jiménez**

Palabras Clave: páramo, andino, suelo, agua, uso del suelo, impacto, densidad aparente, carbono.

El último cinturón de vegetación de los Andes ecuatoriales, conocido como páramo, alberga ecosistemas de gran riqueza y biodiversidad, importantes para las comunidades aledañas debido a los servicios ecosistémicos que brindan. Las intervenciones antrópicas sobre estos biomas han afectado las características del suelo que influyen en la oferta hídrica. El objetivo de esta investigación es desarrollar una revisión sistemática de literatura, acerca de los parámetros del suelo que afectan la cantidad de agua en los ecosistemas de páramo andino, con el propósito de comprender los avances de los estudios realizados hasta el momento y contribuir a la mejora de las futuras investigaciones. Se identificaron tres enfoques en el estudio del suelo en páramo: i) evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura; ii) estudios comparativos sobre el estado de los servicios hídricos del páramo natural frente al afecto antrópico; y iii) estudio del almacenamiento de carbono. Se encontró que el tercer enfoque fue el más investigado. Los parámetros estudiados en general por todas las investigaciones fueron carbono orgánico, materia orgánica, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, humedad y retención de agua. En cuanto a las metodologías empleadas para el estudio de los parámetros, se identificó que el tipo de muestreo se realizó por área, transecto o en un sitio específico; además, el diseño del muestreo fue diverso, incluyendo muestras de suelo alterado e inalterado; a nivel superficial y a mayores profundidades; puntual o durante un intervalo de tiempo; no se identificó una relación entre el enfoque de las investigaciones y la aplicación de las metodologías. Se corroboró la afectación de los cambios de cobertura sobre las propiedades del suelo que a su vez influyen en la cantidad de agua de los páramos andinos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Codirector. Sebastián Elías Patiño Gutiérrez

Abstract

Title: Systematic review of literature about soil parameters that affect the amount of water in the Andean páramos.*

Authors: Yeni Paola Hernández Hernández
Carol Andrea Plata Jiménez **

Keywords: paramo, andean, soil, water, land use, impacts, density bulk, carbon.

The last belt of vegetation of the equatorial Andes, known as paramo, hosts ecosystems of great richness and biodiversity, important for the surrounding communities due to the ecosystem services they provide. Anthropoc interventions on these biomes have affected the characteristics of the soil that influence the water supply. The objective of this research is to develop a systematic review of the literature on soil parameters that affect the amount of water in the ecosystems of the Andean paramo, to understand the progress of the studies carried out so far and contribute to the improvement of future investigations. Three approaches were identified in the study of soil in paramo: i) evaluation of the physical and chemical properties of the soil because of the change in coverage; ii) comparative studies on the state of the water services of the natural paramo against anthropic affect; and iii) study of carbon storage. It was found that the third approach was the most investigated. The parameters studied in general by all the investigations were organic carbon, organic matter, apparent density, porosity, hydraulic conductivity, humidity and water retention. Regarding the methodologies used to study the parameters, it was identified that the type of sampling was carried out by area, transect or at a specific site; in addition, the design of the sampling was diverse, including samples of altered and unaltered soil; at a superficial level and at greater depths; punctual or during a time interval; no relationship was identified between the focus of the research and the application of the methodologies. The impact of changes in coverage on soil properties that in turn influence the amount of water in the Andean paramos was corroborated.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierias fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Civil Director: Isabel Cristina Dominguez Rivera, Codirector. Sebastian Elias Patiño Gutierrez

Introducción

La cordillera de los Andes alberga un ecosistema particular del planeta, conocido como páramo. Su singularidad se atribuye a que posee gran biodiversidad endémica (Iñiguez, Morales, Cisneros, Bauwens, & Wyseure, 2016), bajas temperaturas y poca variabilidad en la precipitación (W. Buytaert et al., 2006), debido a su amplio rango altitudinal entre 3000 y 4800 m.s.n.m (M. Gutiérrez, 2015). Las poblaciones andinas dependen de los diferentes servicios que ofrecen estos lugares, como el suministro de agua (Guio Blanco, Brito Gomez, Crespo, & Ließ, 2018), regulado principalmente por las propiedades físico-químicas de los suelos y la hidrología particular de éstos. El páramo ofrece otros servicios indirectos como el almacenamiento de carbono (M. Gutiérrez, 2015) que contribuye a reducir el efecto del cambio climático (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.).

Los páramos se han visto alterados debido al cambio climático y las diferentes actividades antropogénicas, desarrolladas a lo largo del tiempo (Iñiguez et al., 2016). En efecto, se han realizado investigaciones que buscan determinar la influencia de estos cambios sobre las propiedades del suelo, como en el trabajo de Daza, Hernández y Triana (Daza Torres, Hernández Flórez, & Triana, 2014), donde se quiere conocer el efecto del uso del suelo sobre la capacidad de almacenamiento de agua en el páramo de Sumapaz ubicado en el departamento de Cundinamarca en Colombia. Buytaert et al. (W. Buytaert et al., 2006) encontraron que los cultivos influyen negativamente sobre la estructura del suelo, generando una reducción en retención de agua y almacenamiento de carbono. Es importante conocer las alteraciones de las funciones hidrológicas

relacionadas con la regulación y la oferta hídrica, como consecuencia del daño que sufren los suelos producto de la actividad humana en estas zonas (Valencia-Leguizamón & Tobón, 2017).

Aunque se han realizado investigaciones sobre las propiedades del suelo que influyen en la cantidad de agua en los páramos, se hace necesario organizar y sintetizar la información disponible mediante una revisión sistemática de literatura, que permita contribuir con el desarrollo y ejecución de futuras investigaciones, aumentando la disponibilidad de datos que puedan ser útiles a la hora de realizar modelos hidrológicos.

El objetivo de la investigación es desarrollar una revisión sistemática de literatura, acerca de los parámetros del suelo que afectan la oferta hídrica en los ecosistemas de páramo andino, con el fin de comprender los avances de los estudios realizados hasta la fecha. La investigación se enfoca en recopilar y organizar la información relevante acerca de los parámetros del suelo que afectan la cantidad de agua en los páramos andinos, de manera rigurosa y objetiva, e identificar las metodologías de muestreo, análisis de laboratorio y de datos, además de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas. Para dar solución al problema de investigación se formulan las siguientes preguntas:

- (i) ¿Cuáles son los principales objetivos y resultados de las investigaciones realizadas?
- (ii) ¿Cuáles son las metodologías aplicadas al estudio de los parámetros del suelo?
- (iii) ¿Cuáles son las ventajas y las limitaciones al emplear estas metodologías?
- (iv) ¿Cuáles son los principales parámetros del suelo analizados en las investigaciones?
- (v) ¿Cuáles son los mayores avances en el estudio de los parámetros que influyen en la retención de agua en el suelo?

Estas preguntas buscan contribuir con información relevante a futuras investigaciones, así mismo, con la disponibilidad de datos que puedan ser útiles a la hora de realizar modelos hidrológicos en páramos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una revisión sistemática de literatura acerca de los parámetros del suelo que afectan la oferta hídrica en los ecosistemas de páramo andino, con el fin de comprender los avances de los estudios realizados.

1.2 Objetivo Especifico

- Recopilar y organizar la información relevante acerca de los parámetros del suelo que afectan la cantidad de agua en los páramos andinos, de manera rigurosa y objetiva.
- Identificar las metodologías y los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas.

2. Marco de Referencia

Los páramos andinos son biomas que tienen llanuras y valles con condiciones topográficas variables, en donde se forman lagos, praderas húmedas y turberas, generalmente con vegetaciones endémicas de baja estatura y matorrales; estos ecosistemas desempeñan un papel importante para la economía y la ecología de las regiones adyacentes, debido a que proporcionan el abastecimiento de agua para distintas actividades agrícolas, generación de energía eléctrica y garantizan el flujo base de los cauces de los ríos (W. Buytaert et al., 2006). Las cuencas andinas dependen de las condiciones de los suelos de páramo debido a que estos influyen en la respuesta hidrológica de las mismas (W. Buytaert, Wyseure, De Bièvre, & Deckers, 2005). Los suelos de páramo se clasifican en Andisoles, Entisoles, Inceptisoles e Histosoles, en su mayoría de origen volcánico, cubriendo el lecho rocoso terciario de las cordilleras andinas con una capa uniforme (W. Buytaert et al., 2006). Sin embargo, estos suelos han sido perturbados a lo largo de los años debido al cambio de cobertura afectando seriamente su estructura y generando serios procesos de degradación (Ochoa-Tocachi et al., 2016).

Las condiciones climáticas del páramo favorecen la descomposición lenta de la materia orgánica, la cual está generalmente alrededor del 30% (Harden, 2006). Los suelos de páramo contribuyen a la fijación de carbono debido a la descomposición lenta de la materia orgánica (Daza Torres et al., 2014) mediante su estabilización al formarse complejos organometálicos que logran proteger al humus contra la descomposición, acumulándose en grandes cantidades y que junto con la distribución de tamaño de poros permite una retención de agua bastante significativa (Farley,

Kelly, & Hofstede, 2004). La distribución del carbono orgánico del suelo en profundidad es de gran importancia ya que ayuda a cuantificar las cantidades de carbono fijadas mediante la acumulación y descomposición de la materia orgánica, siendo así de gran importancia para el ciclo del carbono (Montes-Pulido, Miras, & Wery, 2017). Algunas regiones han desarrollado proyectos de reforestación que buscan aumentar el secuestro de carbono, mediante la plantación de especies como el pino, aumentando las reservas de carbono en algunos casos de hasta dos veces más que en suelos minerales, como es el caso de los Andosoles (Farley et al., 2004); sin embargo, algunas investigaciones demuestran que las plantaciones de pino pueden llegar a secar los suelos de manera irreversible reduciendo así el almacenamiento de agua (Harden, 2006).

Los suelos inalterados presentan retenciones de agua muy altas cuyos valores pueden sobrepasar el 100% para el punto de marchitez permanente, relacionándose directamente con el contenido de materia orgánica (Harden, 2006). Las bajas densidades aparentes contribuyen a que estos suelos puedan retener grandes cantidades de agua, las cuales varían entre 0.15 g/cm^3 y 0.9 g/cm^3 para suelos húmedos y suelos erosionados respectivamente (Harden, 2006). En (Andrade Castañeda, Espinosa Gómez, & Moreno Baltán, 2014) se encontraron densidades aparentes entre 0.46 g/cm^3 y 0.63 g/cm^3 para los 10 cm superiores de suelos con pastizales, resaltando la necesidad de considerar el tipo de suelo cuando se realizan estudios de cambio de cobertura. Por otra parte, al presentarse una disminución en la humedad de estos suelos, la conductividad hidráulica decae rápidamente (Farley et al., 2004); la respuesta hidrológica de los páramos se caracteriza por ser lenta debido a la alta capacidad de almacenamiento y alta conductividad hidráulica, que para suelos derivados de cenizas volcánicas esta alrededor de 50-60 mm/h y que puede caer bruscamente al aplicar succiones bajas (W. Buytaert et al., 2006). (Poulenard, Podwojewski, Janeau, & Collinet, 2001) reporto valores de conductividad hidráulica de 60 mm/h y 70 mm/h para dos sitios de estudio

(Pichincha y El Ángel, Ecuador, respectivamente), en donde las variaciones se deben a la distribución del tamaño del poro del suelo y el cambio de cobertura.

3. Metodología

3.1 Búsqueda de artículos científicos

El proceso de búsqueda de la información consistió, en primer lugar, en la definición de las bases de datos para recopilar la información de interés. Scopus, Web of Science, Science Direct, Springer Link y Google Scholar fueron las bases de datos utilizadas. Se realizó la búsqueda de los artículos científicos, empleando palabras clave previamente establecidas (“paramo”, “andean”, “soil”, “water”, “land use”, “impacts”, “peatland”, “density bulk”, “carbon”, “porosity”, entre otras). Estas palabras se combinaron entre sí para obtener mejores resultados y facilitar la elección de los documentos. Se realizaron cruces de referencias para encontrar más artículos relacionados con la investigación.

Se filtró la información de la siguiente forma:

- (i) La lectura del título de los artículos encontrados sirvió como criterio de selección para identificar su relación con el tema de investigación.
- (ii) Se realizó la lectura del resumen de cada documento seleccionado, para confirmar su aporte en el estudio.

- (iii) Se encontraron artículos publicados entre 1976 y 2018, seleccionando principalmente los artículos más nuevos, con algunas excepciones, ya que estos recopilaban los temas de interés.
- (iv) Adicionalmente se revisó el número de citas, el idioma y los autores con mayor número de publicaciones sobre el tema de interés como Pascal Podwojewski, Wouter Buytaert, Robert G.M. Hofstede, Jérôme Poulénard, F. H. Tonneijck, entre otros.
- (v) Finalmente, se hizo una lectura preliminar de cada artículo.

Se utilizó el software de uso libre Mendeley para administrar las referencias de cada documento exportadas directamente desde cada base de datos. La Figura 1 muestra un esquema del proceso de selección, representando el número de artículos filtrados a partir del título, artículos descartados y artículos seleccionados para llevar a cabo el análisis.



Figura 1. Esquema del proceso de selección.

3.2 Extracción de la información

Los 47 artículos seleccionados se guardaron en carpetas numeradas cada una, para facilitar el acceso a la información. Se realizó la lectura completa de cada uno de los documentos y se identificó la información relevante para resolver las preguntas de investigación planteadas. El software Excel se utilizó para tabular la información de interés, donde se recopiló información acerca de: (i) nombre del artículo, (ii) autores, (iii) fecha de publicación, (iv) lugar de estudio, (v) objetivo, (vi) condiciones generales: Región de estudio, altura, precipitación promedio anual, temperatura media anual, entre otros, (vii) tipo de suelo, (viii) metodología: muestreo, análisis de laboratorio, análisis de datos, (ix) resultados de cada parámetro: carbono orgánico, materia orgánica, retención de agua, humedad, densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica, (x) beneficios y limitaciones de las metodologías aplicadas y (xi) conclusiones de cada estudio.

3.3 Análisis de datos

Se realizó un análisis cualitativo y descriptivo de: evolución de los estudios a lo largo del tiempo, identificación de los objetivos de cada publicación, parámetros estudiados en las investigaciones, metodologías empleadas en el desarrollo de los estudios y resultados reportados. La evolución de las publicaciones a lo largo de los años se analizó teniendo en cuenta los artículos publicados entre el año 2000 – 2018 y el lugar de estudio. Ver Apéndice A Los principales objetivos de las investigaciones revisadas se identificaron a partir de 3 enfoques que se definieron de acuerdo con la finalidad de cada documento; adicionalmente se consideraron diferentes tipos de cobertura

analizados en los documentos como: cultivos, preparación del suelo, pastizales y praderas, forestación, vegetación nativa y ganadería. Ver Apéndice B.

Para el análisis de los parámetros que influyen en la cantidad de agua en el páramo andino, se identificaron los diferentes parámetros que estudiaba cada artículo. Las principales metodologías utilizadas se identificaron teniendo en cuenta las técnicas de muestreo, la profundidad, la condición de las muestras. Así mismo, se identificaron diferentes métodos de estimación teniendo en cuenta el lugar de medición de cada uno de los parámetros (in situ o en laboratorio). Adicionalmente, se identificaron las metodologías de análisis de datos teniendo en cuenta pruebas estadísticas y herramientas de tratamientos de datos ver Apéndice C-H. Se utilizaron gráficos de cajas para el análisis de los resultados obtenidos en las investigaciones; por último, se hizo un resumen de las ventajas y limitaciones de cada estudio al igual que de los mayores avances presentados hasta el momento.

4. Resultados y Discusión

4.1 Estado actual de las investigaciones.

La Figura 2 muestra que entre los años 2014 y 2016 aumentaron las publicaciones (entre 5 y 6 artículos por año) en comparación con las realizadas entre los años 2001 y 2013 (1 y 4 artículos por año), presentando un descenso en el año 2017 (2 artículos publicados) y en lo corrido del año 2018 (3 artículos publicados). Entre los años 2005 y 2008 el número de publicaciones fue constante

(2 artículos por año). El mayor número de publicaciones se presentó en el año 2014 con 6 artículos, y el menor en el año 2000 sin artículos publicados.

El país en que más se realizaron investigaciones fue Ecuador (25 artículos), que representa el 53% de los artículos estudiados en esta revisión; por otra parte, Bolivia, Perú y Venezuela representan el 6% de las investigaciones consideradas, (1 artículo cada uno). Chile (2 artículos) representa el 5% de las publicaciones analizadas, y Colombia ocupa un segundo lugar (17 artículos) con un 36%; estos resultados se pueden visualizar en la Figura 3. Es evidente el desarrollo de la investigación del suelo en los páramos, no obstante, se requiere mayor investigación para aumentar el número de publicaciones y mejorar la disponibilidad de información.

4.2 Principales objetivos identificados en la revisión sistemática de literatura.

Se identificaron tres enfoques generales: el primero evaluó las propiedades del suelo producto del cambio de cobertura; 38% (18/47 artículos) de las publicaciones se clasifican en esta categoría. El segundo buscó comparar el estado de los servicios hidrológicos del páramo natural frente al efecto antrópico; en esta categoría se clasificaron el 19% de las publicaciones (9/47 artículos). El tercer enfoque hace referencia al estudio de almacenamiento de carbono, en donde se clasificaron el 43% de las publicaciones (20/47 artículos).

En la revisión se encontró que 15 de los 47 artículos (32%) hicieron comparaciones de los parámetros entre cada tipo de cobertura y la vegetación nativa, lo que evidencia un gran interés por identificar las variaciones de las características hidrofísicas del suelo, debido al cambio de la cobertura natural, producto de actividades antrópicas. Por otra parte, algunos estudios (9/47

artículos) compararon los parámetros de todos los tipos de cobertura entre sí, y otros (9/47 artículos) solamente compararon los parámetros entre coberturas nativas. También, se identificaron comparaciones de los parámetros medidos a distintas profundidades del suelo (2/47 artículos), y 2 de los 47 artículos no realizaron comparaciones entre coberturas.

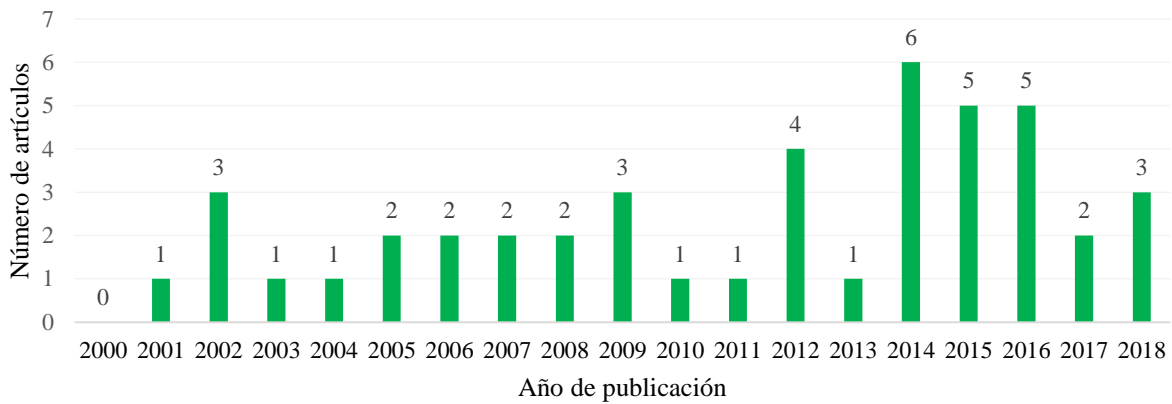


Figura 2. Publicaciones después del año 2000.

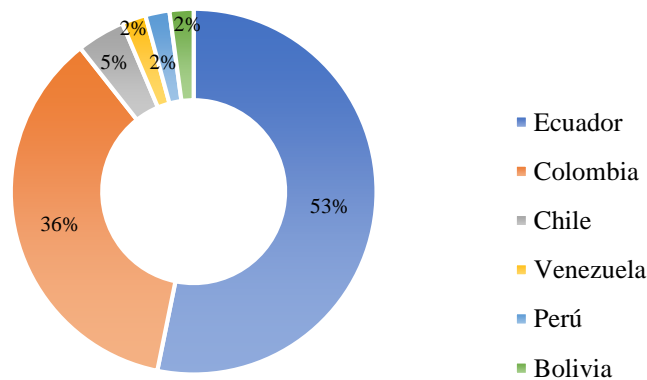


Figura 3. Porcentaje de estudios realizados por país.

4.3 Parámetros de interés abordados.

Los principales parámetros hidrofísicos analizados se identificaron a lo largo de la investigación debido a su importancia para la regulación de la cantidad de agua en los suelos de paramo, y su frecuencia de estudio en las publicaciones revisadas; estos fueron: retención de agua, densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad, carbono orgánico, materia orgánica y humedad. La Figura 4 muestra el número de artículos en los que se analizaron estos parámetros. Se encontró que las propiedades hidrofísicas más estudiadas son la densidad aparente y el carbono orgánico, estas fueron determinadas en 34 artículos que representan el 72% de la totalidad de estudios revisados.

- La densidad aparente se estudió en los tres enfoques, el primer enfoque analizó en mayor proporción esta propiedad (19 de los 34 artículos) y el segundo enfoque fue el que menos la estudió (6 de los 34 artículos), lo que evidencia un gran interés por conocer la afectación de la densidad debido al cambio de cobertura. Es importante investigar esta propiedad hidrofísica en los ecosistemas de paramo debido a que se ve afectada por el alto contenido de carbono orgánico, dando lugar a una alta porosidad, que favorece el almacenamiento de agua en el suelo (Daza Torres et al., 2014).
- Para el carbono orgánico, el tercer enfoque fue el que más estudió este parámetro, (19 artículos de los 34) y el segundo enfoque lo determinó en menor proporción (5 artículos de los 34). Por otra parte, es importante medir el carbono orgánico, porque su contenido en el suelo disminuye con la profundidad (Aguirre, 2015; M. Gutiérrez, 2015), además, la acumulación de carbono orgánico en clima frío y húmedo está condicionada por la alta porosidad y la retención de agua. Por otra parte, la textura fina del suelo contribuye con la

acumulación de carbono (V. Minaya et al., 2016) pero el aumento de la densidad aparente disminuye su depósito en el suelo (Comas et al., 2017). Se reportó que los suelos húmicos tienen gran cantidad de contenido de carbono orgánico (W. Buytaert, Deckers, & Wyseure, 2007) y que la vegetación es de gran importancia para la captura de carbono (V. Minaya et al., 2016), los suelos con vegetación nativa tienen mayor concentración de carbono en comparación con las coberturas de cultivo (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.; Montes-Pulido et al., 2017), pastizales (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.), plantaciones de pino (Farley et al., 2004) y los usados para pastoreo (Montes-Pulido et al., 2017). Sin embargo, Andrade et al. (Andrade Castañeda et al., 2014) reportaron un impacto positivo en el almacenamiento de carbono por efecto de la ganadería asociado a la carga animal por hectárea y al periodo de ocupación, que puede verse afectado negativamente si se intensifica la actividad ganadera en la zona.

- La retención de agua se midió a diferentes presiones, los suelos son capaces de retener el agua a diferentes tensiones (Daza Torres et al., 2014), debido a la variación del tamaño de los poros, además, es muy importante para comprender el comportamiento hidrológico de los suelos (W. Buytaert et al., 2006); cabe resaltar que el suelo es sensible a la entrada de aire, lo que se ve reflejado en la liberación gradual del agua hasta una presión muy similar a la del punto de marchitez permanente (W. Buytaert et al., 2005). 17 de los 47 artículos midieron esta propiedad, lo que representa el 36% de las publicaciones, encontrando que el primer enfoque fue el que más estudió la retención de agua (9 artículos de 17) y el tercer enfoque la estudió en menor proporción con 3 artículos de 17. De los 17 artículos que estudiaron la retención de agua, 4 la analizaron en el estado de saturación (0 kPa) y 4 estudiaron la retención a 10 kPa, la retención de campo (33 kPa) se estudió en 6 artículos

de los 17, presentándose un gran interés por conocer la retención en el punto de marchitez permanente (1500 kPa), estudiado en 16 de los 17 artículos.

Es importante medir la retención de agua ya que es una de las propiedades más afectadas por el uso del suelo (W. Buytaert et al., 2002; Daza Torres et al., 2014), la cual puede disminuir a 1/3 de su valor inicial después de la degradación por el cambio de cobertura (Podwojewski, Poulénard, Zambrana, & Hofstede, n.d.), además, la retención de agua se reduce en el punto de marchitez y en el punto de saturación (Quichimbo et al., 2012), aunque esta reducción es en menor proporción (W. Buytaert et al., 2005). Los suelos de páramo son sensibles a las actividades antrópicas como las quemadas, el pastoreo (M. L. Gutiérrez & Gutiérrez, 2015), el arado (Harden, 2006) y el secado al aire libre, que produce un cambio en el comportamiento hidrodinámico (Poulénard et al., 2001).

- La materia orgánica se estudió en 30 artículos que representan el 64% de las publicaciones. El primer enfoque fue el que estudió más este parámetro hidrofísico (17 de los 30 artículos) y el segundo enfoque lo estudió en menor proporción (3 de los 30 artículos); se encontró una relación entre la medición del carbono orgánico del suelo y la materia orgánica, debido a que hay dependencia entre ellas, a nivel superficial existen mayores fracciones de cantidad de carbono debido al aporte vegetal (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.) y de las raíces (Montes-Pulido et al., 2017). Los suelos de los páramos en Colombia tienen gran cantidad de materia orgánica (Agudelo, 2016), pero las perturbaciones a pequeña escala tienen un impacto negativo en la descomposición de ésta (Urbina & Benavides, 2015). En las turberas drenadas se encontró un menor contenido de materia orgánica debido a las grandes tasas de descomposición producto de la exposición del suelo al aire (J. C. Benavides, 2015). Por otra parte, en las plantaciones de pino se evidenció una disminución

en la acumulación de materia orgánica (W. Buytaert et al., 2007) que afecta las propiedades del suelo relacionadas con su estructura y el almacenamiento de agua (Wouter Buytaert, Deckers, & Wyseure, 2006). La bioturbación es responsable de la distribución en profundidad de la materia orgánica (F H Tonneijck & Jongmans, 2008). La reducción de materia orgánica afecta propiedades como la densidad aparente, porosidad, la conductividad hidráulica, la estructura del suelo y la permeabilidad (Camargo García, Dossman, Rodríguez, Arias, & Galvis Quintero, 2012), lo que se evidencia en Quichimbo et al. (Quichimbo et al., 2012), Marulanda y Villa (Marulanda & Villa, 2015) y Ordoñez et al. (Ordoñez, Galicia, Figueroa, Bravo, & Peña, 2015), donde el aumento de materia orgánica da como resultado baja densidad aparente y una mayor retención, de igual forma en Benavides et al. (I. F. Benavides et al., 2018), donde hubo una reducción del contenido de materia orgánica y como consecuencia aumentó la densidad aparente.

- Por otra parte, la propiedad hidrofísica menos determinada fue la conductividad hidráulica presente en 9 de los 47 artículos revisados, que equivalen al 19% de las investigaciones. Sin embargo, es de gran interés medirla ya que en Quichimbo et al. (Quichimbo et al., 2012) se reportó que la conductividad hidráulica disminuye en suelos con cultivos de papa y pajonal de quema, pero, esta aumenta bajo coberturas de pasto y pino, lo que evidencia su sensibilidad a los cambios de cobertura del suelo.
- La humedad fue estudiada en 24 de los 47 artículos revisados, medirla permite establecer relaciones con otros parámetros hidrofísicos; se ha reportado que la alta humedad contribuye con la acumulación de carbono (Peña-Quemba, Rubiano-Sanabria, & Riveros-Iregui, 2016), aunque Avellaneda et al. (Avellaneda-Torres, León Sicard, & Torres Rojas, 2018) encontraron que hubo un mayor contenido de carbono orgánico en la estación seca.

La pendiente y la posición geomorfológica contribuyen al contenido de humedad (Peña-Quemba et al., 2016), pero se ve muy afectado por el pisoteo del ganado (M. L. Gutiérrez & Gutiérrez, 2015).

- La porosidad se midió en 13 artículos de los 47 estudios revisados, esta se ve afectada por el pisoteo del ganado, que genera compactación del suelo (W. Buytaert et al., 2002), en los procesos de escarificación la disminución del volumen de poros se ve afectado por cambio de la capa de suelo que tiene textura diferente, se reporta mayor densidad y resistencia a la penetración, pero disminuye la calidad del suelo para el crecimiento de las plantas (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014). Las actividades de labranza del suelo causan la ruptura de los agregados genera una disminución en la porosidad que se ve reflejado en el aumento de la densidad aparente (Daza Torres et al., 2014).

La Figura 4 muestra que los parámetros más analizados a nivel general por todas las investigaciones revisadas son el carbono orgánico, la densidad aparente y la materia orgánica, lo que evidencia la importancia de su estudio para determinar su influencia sobre la cantidad de agua en los páramos andinos.

4.4 Metodologías identificadas en la revisión sistemática de literatura.

4.4.1 Tipo de muestreo. Los muestreos identificados en la revisión se clasificaron en tres técnicas: la primera de ellas consistió en un muestreo por área, considerando parcelas y subparcelas en su mayoría rectangulares, entre 1 m² y 3600 m², 23 investigaciones de los 47 estudios revisados utilizaron sólo esta técnica. Los criterios de selección de las parcelas fueron: el tipo de cobertura, la altura sobre el nivel del mar, pendientes menores al 20%, el material parental, tipo de suelo;

otros criterios de selección se basaron en el objetivo de cada investigación, por ejemplo: el manejo y la preparación del suelo, la edad de las plantaciones de pinos y la importancia del área para el suministro de agua potable.

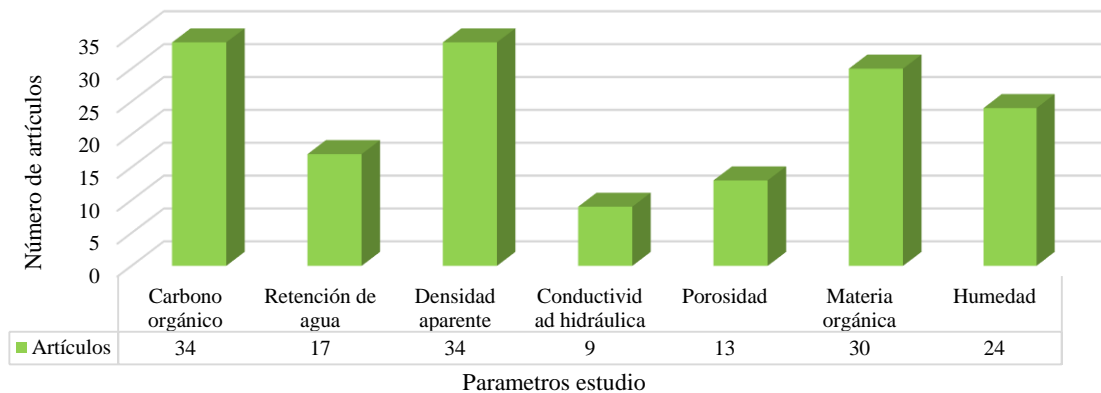


Figura 4. Parámetros estudiados.

Otro tipo de muestreo consistió en el uso de transectos, de tipo longitudinal, siguiendo cortes altitudinales, transversales y en zigzag. Se encontró que sólo 2 de las investigaciones revisadas utilizaron este modelo de muestreo. La selección de los transectos se realizó mediante dos criterios: la cobertura y la altura. Por otra parte, alrededor de 12 artículos sólo emplearon mediciones en un lugar específico, según el tipo de cobertura, la altura sobre el nivel del mar, el uso del suelo en el pasado y la accesibilidad.

Aunque se definen criterios de selección para la elección de las áreas, los transectos y los lugares específicos, hay gran heterogeneidad entre ellos, no se establecen lineamientos ni una guía metodológica para la selección del sitio de muestreo, por lo que se recomienda investigar más acerca de los criterios de selección y de esta manera contribuir con una mejora en la toma de decisiones de las futuras investigaciones. Algunas investigaciones combinaron las técnicas de

muestreo: 6 de los artículos realizaron muestreos por área y transectos, 3 por muestreo en un sitio específico y área, y uno no reportó la técnica empleada. No se definieron criterios para combinar las técnicas, por lo que se hace necesario profundizar en el fundamento de esta metodología para aplicar estas combinaciones.

4.4.2 Profundidad de muestreo. El análisis de las profundidades de muestreo evidenció que se realizaron dos tipos de muestreo: superficial (menor a 15 cm) y profundo (mayor a 15 cm). 34 de los 47 artículos revisados hicieron muestreo superficial y profundo, otros manejaron solo un tipo de muestreo: superficial (3/47 artículos) y profundo (5/47 artículos); sin embargo, 5 de los 47 artículos estudiados no reportaron profundidad de muestreo. El muestreo superficial es importante porque la cantidad de materia orgánica es más homogénea morfológicamente; además Daza et al. (Daza Torres et al., 2014), y Farley et al. (Farley, Bremer, Harden, & Hartsig, 2013), afirman que se espera que a nivel superficial se evidencien los efectos del cambio de cobertura y de forestación.

El muestreo a profundidad permite la medición del contenido de carbono del suelo, el cual varía con la profundidad, lo que evidencia la existencia de depósitos de turba y materia orgánica en descomposición (Cargua, Rodríguez, Recalde, & Vinueza, 2014). 12 de los 47 artículos revisados explican para que se realizaron los muestreos a profundidad; lo cual, permite describir el perfil del suelo, medir las variables fisicoquímicas, determinar el impacto de las actividades antropogénicas en los horizontes del suelo y complementar información relacionada con la textura y drenaje del suelo.

4.4.3 Tipo de muestras. Las investigaciones trabajaron dos tipos de muestras para el análisis de los parámetros de interés: muestras alteradas, aquellas que se toman con una cantidad de suelo

representativa de cada horizonte y posteriormente se homogeniza, y las inalteradas que se toman con la profundidad empleando instrumentos de muestreo que no alteren su estructura de manera que no se modifique la condición del suelo (Quichimbo et al., 2012). Las muestras alteradas se emplearon para medir parámetros como: carbono orgánico, materia orgánica y retención de agua. De los 47 estudios revisados, 11 recogieron muestras alteradas cuyos pesos oscilaron entre 0.2 kg y 1 kg, pero gran parte de las publicaciones reportaron haber recolectado muestras alteradas de 1 kg.

Las muestras inalteradas se usaron para medir retención de agua, densidad aparente, humedad y conductividad hidráulica y porosidad. Se manejaron diferentes tipos de volúmenes, cilíndricos y prismáticos cuadrangulares, cuyos volúmenes se encontraban alrededor de 21.64 cm³ y 1500 cm³, la mayoría de los estudios utilizaron anillos Kopecky con volumen de 100 cm³ para la extracción de muestras. Otros instrumentos empleados para la recolección de muestras inalteradas fueron: barreno (Andrade Castañeda et al., 2014; Daza Torres et al., 2014), cajas (F H Tonnejck & Jongmans, 2008; Femke H. Tonnejck, Hageman, Sevink, & Verstraten, 2008) y canaletas metálicas (F H Tonnejck & Jongmans, 2008), canalones metálicos (F.H. Tonnejck et al., 2010), descorazonadores (J. C. Benavides, 2015; F.H. Tonnejck et al., 2010), sinfín de gubia (Comas et al., 2017; Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskov, & Chimner, 2016), perforadores de suelo (Farley et al., 2013; Schnetter, Lozano Contreras, Schnetter, & Cardozo G., 1976), núcleos de PVC (Urbina & Benavides, 2015) y muestreador universal de sedimentos (Marulanda & Villa, 2015).

El número de muestras recolectadas en los estudios varió entre 4 y 700 muestras en total, tomadas a partir de distintos criterios de selección como: entre 1 a 12 muestras por parcela, horizontes del suelo considerando la toma de muestras hasta 10 profundidades diferentes (Valencia, Lassaletta, Velázquez, Nicolau, & Gómez-Sal, 2013), rangos altitudinales y tipo de

cobertura del suelo. Las investigaciones revisadas no reportan una guía metodológica específica a seguir para definir el número de muestras, debido a que cada estudio considera criterios de selección diferentes que se ajustan a sus objetivos de investigación.

El Apéndice I muestra los estudios que reportaron el tiempo empleado para el muestreo y recolección de datos, el cual abarcó periodos entre 2 semanas y 43 meses; 15 de 47 de las investigaciones revisadas fueron desarrolladas en este intervalo de tiempo, los demás estudios fueron desarrollados durante periodos de tiempo cortos que no fueron especificados.

4.4.4 Métodos empleados para la medición de parámetros. Las mediciones de los parámetros se realizaron in situ y en laboratorio. Los parámetros medidos en campo fueron la humedad y el carbono orgánico, aunque también se determinaron en condiciones de laboratorio. La humedad en campo se midió utilizando la técnica del reflectómetro de dominio de tiempo TDR con sensores como Hydrosense (Harden, 2006), Hydrosense II (Peña-Quemba et al., 2016), TDR CS625 y CS616 (Agudelo, 2016). El carbono del suelo se midió en campo mediante el método de Radar Penetrante en Tierra (GPR) (Comas et al., 2017). Una investigación reportó tres métodos que pueden utilizarse para medir el carbono en campo: espectroscopia de reflectancia de infrarrojo medio y cercano (MIRS/NIRS), espectroscopía de descomposición inducida por láser (LIBS) y dispersión de neutrones inelástica (INS) (Chatterjee, Lal, Wielopolski, Martin, & Ebinger, 2009).

Dentro de las mediciones realizadas en laboratorio para la determinación de la materia orgánica se identificaron metodologías como: método de pérdida por ignición, Walkley-Black, combustión y álcali (F H Tonneijck & Jongmans, 2008); Los métodos más empleados fueron pérdida por ignición (4 de 47 artículos) y Walkley-Black (4 de 47 artículos). Además, se identificó un instrumento de medición llamado pirolizador Curie-Point de Horizon Instruments (G. J. Nierop,

Tonneijck, Jansen, & M. Verstraten, 2007). Para la medición del carbono presente en el suelo se encontraron diferentes métodos de laboratorio, el más utilizado es el método Walkley-Black que consiste en oxidar la muestra de suelo con Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), en el que se genera calor durante la incorporación del ácido sulfúrico (H_2SO_4) y se produce una oxidación parcial del carbono (M. L. Gutiérrez & Gutiérrez, 2015). 9 de los 47 artículos revisados emplearon este método para la medición del carbono orgánico.

Otros métodos menos usados son: combustión seca (M. Gutiérrez, 2015; Peña-Quemba et al., 2016) y húmeda (Chatterjee et al., 2009), método automatizado (Chatterjee et al., 2009), los cuales transforman la materia orgánica en CO_2 para determinar la cantidad de carbono orgánico en el suelo. Otra técnica utilizada fue la pérdida por ignición (Chatterjee et al., 2009; M. Gutiérrez, 2015; Marulanda & Villa, 2015), que se basa en medir la pérdida de peso producto de la combustión de la materia orgánica a alta temperatura. Adicionalmente, se emplearon métodos como espectrofotometría (Montes-Pulido et al., 2017), método de Dumas (W. Buytaert et al., 2007; V. Minaya et al., 2016; Verónica Minaya, 2016), método de Springer and Klee (M. Gutiérrez, 2015; Schnetter et al., 1976), espectroscopia de resonancia nuclear magnética, reflectancia difusa infrarroja de transformada de Fourier (M. Gutiérrez, 2015) y el método de extracción de fumigación (Chacón, Gagnon, & Paré, 2009).

Al identificar los métodos de medición del carbono orgánico se puede evidenciar que las técnicas basadas en sustancias químicas pueden ser un poco más complejas para su implementación en comparación con las metodologías que utilizan el principio de peso por combustión, porque es un análisis más sencillo que no requiere un especialista para su ejecución. Los instrumentos utilizados para la medición de carbono orgánico fueron analizadores elementales, en los que se encontraban: el analizador Leco 1000 CHN (Peña-Quemba et al., 2016),

VarioEL CNS (G. J. Nierop et al., 2007; F.H. Tonneijck et al., 2010; F H Tonneijck & Jongmans, 2008; Femke H. Tonneijck et al., 2008), analizador de elementos CHN, analizador elemental (Costech 4010) (Hribljan et al., 2016), aparato Van-Slyke-Neil (Chatterjee et al., 2009) y el analizador Carlo Erba NCS 2500 (Farley et al., 2013).

La retención de agua se determinó a partir de los siguientes métodos: placas a presión, cuyo principio es la desorción a diferentes presiones (Daza Torres et al., 2014); membrana porosa (Camargo García et al., 2012), que consiste en determinar la presión de agua al aplicar presión con aire sobre las muestras y método de flujo de salida múltiple (Quichimbo et al., 2012). El método de membrana porosa fue el más utilizado, 6 de los 47 artículos revisados reportaron el uso de esta técnica.

La humedad del suelo se estimó a partir de los métodos gravimétrico, cuyo principio se basa en la diferencia de peso de la muestra al secarse al horno a una temperatura definida, y volumétrico (Reyes, Thiers, Gerding, & Donoso, 2014), además, se reportó el uso de un instrumento de medición llamado sensor de reflectometría para la cuantificación de la humedad (Roa-Garcia, Brown, Schreier, & Lavkulich, 2011). El método gravimétrico fue el más utilizado para la medición de la humedad, 10 de los 47 artículos analizados realizaron este tipo de medición.

La densidad aparente se estimó mediante los métodos: gravimétrico, volumétrico y parafina (Montes-Pulido et al., 2017; Podwojewski & Germain, 2005). 15 de los 47 artículos emplearon el método volumétrico, siendo así el más utilizado para el cálculo de la densidad aparente. La porosidad se determinó a partir de la densidad real y la densidad aparente (Camargo García et al., 2012; Daza Torres et al., 2014). La conductividad hidráulica se midió con la técnica de permeámetro de cabeza constante (W. Buytaert et al., 2007, 2005) en donde se aplica una sobrepresión hidráulica para la determinación de esta propiedad; Esta técnica fue la más empleada

(2 de los 47 artículos). Otros métodos para estimar la conductividad hidráulica fueron: infiltrómetro de tensión (W. Buytaert et al., 2005), el triángulo de textura del suelo (Quintero, Wunder, & Estrada, 2009), el pozo invertido (Quichimbo et al., 2012) y el método de orificio de barrena invertida donde se determina la tasa de caída del nivel del agua dentro de un agujero de profundidad determinada.

Algunos artículos no reportaron la técnica empleada: carbono orgánico (19/47 artículos), materia orgánica (36/47 artículos), retención de agua (34/47 artículos), humedad (35/47 artículos), densidad aparente (20/47 artículos), porosidad (45/47 artículos) y conductividad hidráulica (43/47 artículos), ni el instrumento de medición (28/47 artículos), esto muestra una falencia de las investigaciones en reportar las metodologías para medir los parámetros hidrofísicos. Además, no se especificaba por qué se utilizaban dichas metodologías, a excepción de Buytaert, Wyseure, De Bièvre y Deckers (W. Buytaert et al., 2005), que justifican porque se empleó el método de permeámetro de cabeza constante para la medición de la conductividad hidráulica, este estudio afirmó que el procedimiento es directo, rápido y fácil de realizar en condiciones de laboratorio. En el Apéndice G se puede visualizar el resumen de las metodologías empleadas.

4.4.5 Ventajas y Limitaciones de las Metodologías encontradas En las investigaciones revisadas se encontraron ventajas asociadas al uso del método de permeámetro de cabeza constante para la medición de la conductividad hidráulica saturada, al ser un proceso que se puede realizar en condiciones de laboratorio, de forma rápida y directa (W. Buytaert et al., 2005). Por otra parte, el método de estimación de carbono mediante el radar de penetración GPR, presenta beneficios al utilizar antenas especializadas que permiten la recolección de datos de perfiles de suelo a escalas de kilómetro, en condiciones topográficas complejas y con gran vegetación, siendo de gran utilidad

para estudiar suelos densos y profundos de turba (Comas et al., 2017). Adicionalmente, el método de dispersión inelástica de neutrones (INS) empleado para la determinación de carbono, es multi-elemental y no destructivo (Chatterjee et al., 2009). Dentro de las limitaciones identificadas para algunos métodos empleados en la medición de los parámetros fisicoquímicos, se encontró algunas desventajas, por ejemplo, para el método de la pipeta empleado para medir la distribución del tamaño de partícula, el cual no es recomendado para Andosoles porque se emplea hexametáfosfato para la dispersión, siendo incompleta en la mayoría de los casos (W. Buytaert et al., 2007). Otro método que presentó limitaciones fue el método de permeámetro de cabeza constante para la medición de conductividad hidráulica, por considerar un volumen de muestra pequeño y ser propenso a modificar la estructura del suelo durante el proceso de muestreo (W. Buytaert et al., 2005).

Las limitaciones o desventajas que presentan distintos métodos empleados para la determinación del carbono en el suelo, se reportaron en las investigaciones y se nombran a continuación: la necesidad de usar procesos analíticos minuciosos para la ejecución del método de combustión húmeda, el método de Walkley-Black puede producir subproductos tóxicos como el cromo, el proceso de combustión seca puede llegar a sobreestimar la cantidad de materia orgánica, el método automatizado es costoso y libera CO₂ (Chatterjee et al., 2009). Respecto a las desventajas del uso de instrumentos se encontró que el aparato Van-Slyke-Neil es costoso y se puede dañar fácilmente. En cuanto a metodologías de muestreo en campo las principales limitaciones se presentaron en casos específicos como en (W. Buytaert et al., 2007), en donde la selección de las unidades de muestreo (pedones) a la largo de transectos, se vio restringida por el difícil acceso al páramo de estudio, además, las condiciones ambientales limitaron las sesiones de muestreo en (I. F. Benavides et al., 2018), por la presencia de lluvia y niebla. Adicionalmente, en

(Hribljan et al., 2016), se presentaron dificultades asociadas a la extracción de las muestras en profundidad, debido a la presencia de suelos minerales demasiado densos.

4.4.6 Análisis de datos. Dentro del análisis de datos se consideraron las pruebas estadísticas utilizadas en el tratamiento de la información de las publicaciones revisadas. Se clasificaron en tres grupos: pruebas univariantes, multivariantes y análisis de correlaciones.

Dentro de las pruebas univariantes se identificaron a su vez pruebas paramétricas y no paramétricas. Las pruebas paramétricas identificadas fueron: análisis de varianza (ANOVA) que evaluaba la existencia de diferencias significativas sobre las propiedades del suelo (Bremer, Farley, Chadwick, & Harden, 2016; W. Buytaert et al., 2007), además, se utilizó para analizar datos en conjunto e individuales de los factores involucrados en las investigaciones (W. Buytaert et al., 2007; Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.) y para comparar medias de variables después de haber probado normalidad (Chacón et al., 2009). ANOVA desequilibrado se utilizó para analizar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo (W. Buytaert et al., 2007). ANOVA de una vía (J. C. Benavides, 2015; Reyes, Thiers, & Gerding, 2014), fue empleado para la verificación de datos e igualdad de varianzas (Farley et al., 2004), además, para realizar comparaciones entre propiedades fisicoquímicas bajo diferentes cubiertas, usos del suelo (I. F. Benavides et al., 2018) y lugares (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014). ANOVA de dos vías se usó para comparar el cambio de densidad aparente y la retención de agua dependiendo de la parcela (Urbina & Benavides, 2015) y analizar el contenido de humedad (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014). ANOVA de medidas repetidas (Urbina & Benavides, 2015) no reportó para qué fue empleado.

Se encontró que realizaron, pruebas estadísticas descriptivas de dispersión central (Montes-Pulido et al., 2017), pruebas T student (Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, & Sevink, 2002) para probar diferencias en el contenido total de agua y diferencias de retención entre los tipos de cobertura (W. Buytaert et al., 2005), también, se usó para comparar valores de punto de marchitez permanente para muestras húmedas de cultivos y arbustos (W. Buytaert et al., 2002). Adicionalmente, se utilizaron pruebas de análisis estadísticos estándar (I. F. Benavides et al., 2018), medidas de dispersión, rangos de variación y comparaciones de medias (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014).

Las pruebas no paramétricas más empleadas en los estudios revisados fueron: las pruebas de comparación múltiple de Tukey que se utilizaron para determinar diferencias estadísticas significativas de las variables relacionadas con los cambios de cobertura (Andrade Castañeda et al., 2014; Daza Torres et al., 2014), también, se empleó para comparar depósitos de carbono a diferentes alturas sobre el nivel del mar (V. Minaya et al., 2016; Verónica Minaya, 2016) y para probar diferencias entre medias después de aplicar ANOVA (Chacón et al., 2009). La prueba Kruskal-Wallis fue utilizada para variables que no cumplieron supuestos como, por ejemplo, de normalidad (Avellaneda-Torres et al., 2018), y que no pudieron corregirse con transformación (Farley et al., 2004). En Camargo et al. (Camargo García et al., 2012) se empleó para determinar cualquier diferencia estadísticamente significativa de parámetros del suelo para sitios afectados y no afectados, a diferencia de Montes-Pulido, Miras y Wery (Montes-Pulido et al., 2017) que la usaron para comparar los datos de las muestras de suelo de distintas coberturas.

Otra prueba no paramétrica empleada fue la prueba de normalidad de Shapiro Wilk (Daza Torres et al., 2014), usada para analizar homogeneidad de varianzas (Avellaneda-Torres et al., 2018) y determinar normalidad de datos para comparar las concentraciones de materia orgánica

(Marulanda & Villa, 2015). La prueba post-hoc de REGWF (Ryan-Einot-Gabriel-Welsh F) fue empleada para comparar promedios cuando había diferencias significativas de la edad de los rodales (Farley et al., 2004). La prueba post-hoc de Tukey fue utilizada para comparar promedios (Farley et al., 2013) y examinar diferencias significativas (J. C. Benavides, 2015; Urbina & Benavides, 2015). El test de Bonferroni fue empleado para la comparación múltiple de medias (Peña-Quemba et al., 2016). La prueba de Wilcoxon (Avellaneda-Torres et al., 2018) se usó para datos que no cumplieron suposición de normalidad y para analizar diferencias significativas (Avellaneda-Torres et al., 2018). La prueba de U de Mann – Whitney (V. Minaya et al., 2016) sirvió para probar diferencias entre parámetros estudiados según el uso del suelo (W. Buytaert et al., 2005) y determinar diferencias de promedio (F.H. Tonneijck et al., 2010). Adicionalmente, dentro de las pruebas univariantes no paramétricas se identificaron la prueba de Tukey – Kramer (I. F. Benavides et al., 2018) y el método de comparación múltiple de Scheffé (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014) para identificar grupos homogéneos.

Por otra parte, las pruebas multivariantes más utilizadas fueron, MANOVA empleada para contrastar hipótesis nulas (Peña-Quemba et al., 2016), comparar diferencias significativas (Valencia et al., 2013) y determinar la influencia de la ubicación del área de estudio y de los horizontes del suelo (Wouter Buytaert et al., 2006). El análisis de componentes principales (PCA) se empleó para identificar diferencias y similitudes entre los tipos de uso de suelo y las propiedades del suelo (Chacón et al., 2009), además, para seleccionar los componentes más significativos de muchas variables del suelo (Valencia et al., 2013), y realizar un análisis exploratorio (Quichimbo et al., 2012). Los métodos de ordenación de escalamiento multidimensional (MDS) se usaron para representar cambios en concentraciones de carbono bajo diferentes tipos de vegetación con respecto a la altura (V. Minaya et al., 2016). Los análisis de varianza permutacional multivariado

(PERMANOVA) (V. Minaya et al., 2016) evaluaron las variaciones en los muestreos entre los tipos de vegetación y los tratamientos (Urbina & Benavides, 2015) y RMANOVA fue utilizado para el análisis de variables fisicoquímicas, considerando los usos del suelo y el tiempo empleado para realizar los muestreos como influencia dentro de las parcelas (Ordoñez et al., 2015).

Se realizaron análisis de correlación empleando coeficientes como: coeficiente de correlación de Spearman (Montes-Pulido et al., 2017; F.H. Tonneijck et al., 2010) para verificar relaciones entre los parámetros del suelo (Camargo García et al., 2012) considerando diferencias significativas (F H Tonneijck & Jongmans, 2008), SPSS correlate (F.H. Tonneijck et al., 2010), coeficiente de correlación de Pearson que sirvió para evaluar relaciones significativas entre parámetros fisicoquímicos (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014) con la cobertura vegetal (Aguirre, 2015) y composición del suelo (V. Minaya et al., 2016). Adicionalmente, se usó la función de autocorrelación (ACF) y las funciones de autocorrelación parcial, las cuales de utilizaron para determinar la dependencia de tiempo entre las mediciones (I. F. Benavides et al., 2018).

Para el tratamiento de los datos y el desarrollo de las pruebas estadísticas se emplearon programas de computador como Software InfoStat.SAS (Andrade Castañeda et al., 2014; Daza Torres et al., 2014), IBM-SPSS Statistics 21TM (Montes-Pulido et al., 2017), IBM-SPSS Statistics V19 (Ordoñez et al., 2015), SPSS Statistics 20 (Marulanda & Villa, 2015), Software libre R 2.10.0 (Avellaneda-Torres et al., 2018; Urbina & Benavides, 2015), R 2.12.0, el paquete vegan, el paquete plotrix (V. Minaya et al., 2016), ReflexW por Sandmeier Geophysical Research (Comas et al., 2017) y R studio versión 0.98 usando paquetes agricolae, nls2, car, y lmPerm (I. F. Benavides et al., 2018).

4.5 Características de los parámetros hidrofísicos.

En la revisión sistemática se logró identificar que la mayoría de los artículos realizaban comparaciones de los parámetros medidos para diferentes coberturas respecto al suelo de uso nativo, por lo que se realizó un análisis descriptivo de los resultados encontrados a partir de las mediciones de los parámetros realizadas bajo la cobertura natural. La Figura 5 representa los intervalos de valores encontrados en porcentajes a nivel superficial (< 15 cm) de carbono orgánico (C), materia orgánica (M.O), humedad (W), porosidad (P) y retención de agua (R 33 kPa y R 1500 kPa) para el suelo con vegetación nativa (ver Apéndice J y K). En la Figura 5 se observa la media para los principales parámetros estudiados en suelo de páramo con cobertura nativa. Se destaca un valor atípico (168 %) para la retención a 1500 kPa. En el caso de porosidad y retención a 33 kPa, se puede observar que las mediciones obtenidas son más dispersas en el primer cuartil del diagrama; sin embargo, para la retención a 1500 kPa y la humedad, la Figura 5 muestra que los datos están más dispersos por encima del tercer cuartil. Por otra parte, el gráfico de caja evidencia la existencia de disimetría negativa para los datos de materia orgánica y porosidad, además, la humedad y la retención a 1500 kPa presentaron una disimetría positiva, con la presencia de un ligero sesgo en los datos. En la comparación de parámetros bajo diferentes coberturas, teniendo en cuenta solamente datos de humedad (ver Apéndice L-O) y densidad aparente (ver Apéndice P-T) dado que cuentan con un número de datos apreciable, la Figura 6 muestra el rango de porcentajes de humedad a nivel superficial para varios tipos de cobertura (cultivo, forestación, pastizales y nativo) sobre el suelo. Para los cuatro tipos de cobertura se presentó una mayor dispersión en el 25% de los datos mayores, con presencia de sesgo positivo en los datos de todos los tipos de cobertura debido a valores de humedad altos. Se evidencia una disminución entre medias con

respecto al suelo con vegetación nativa, lo que demuestra el impacto del uso del suelo sobre las propiedades hidrofísicas que influyen en la cantidad de agua en el páramo. El tipo de cobertura que presentó mayor disminución en la humedad fue el suelo bajo forestación, lo que confirma lo encontrado en Farley et al. (Farley et al., 2004) y Hofstede et al. (Hofstede et al., 2002), donde se evidenció que los suelos bajo cubierta de pino disminuye rápidamente el contenido de agua debido al cambio de la distribución de vacíos, la cual es ocasionada por perturbaciones en la distribución de los granos (W. Buytaert et al., 2002; Podwojewski et al., n.d.), además, la disminución de la humedad también está asociada a la reducción del contenido del carbono, la eliminación de la hojarasca (W. Buytaert et al., 2002) y los cambios en la composición mineralógica (Podwojewski et al., n.d.).

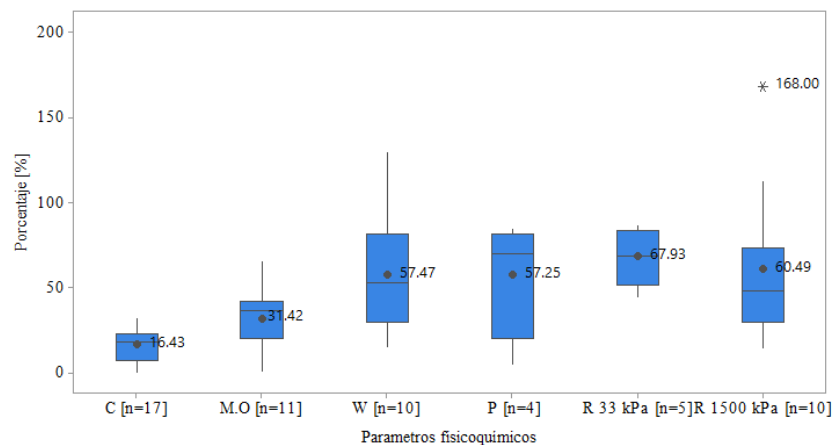


Figura 5. Parámetros fisicoquímicos para cobertura nativa de páramo a nivel superficial.

Carbono orgánico (C), materia orgánica (M.O), humedad (W), porosidad (P), retención de agua a 33 kPa (R 33 kPa) y retención de agua a 1500 kPa (R 1500 kPa).

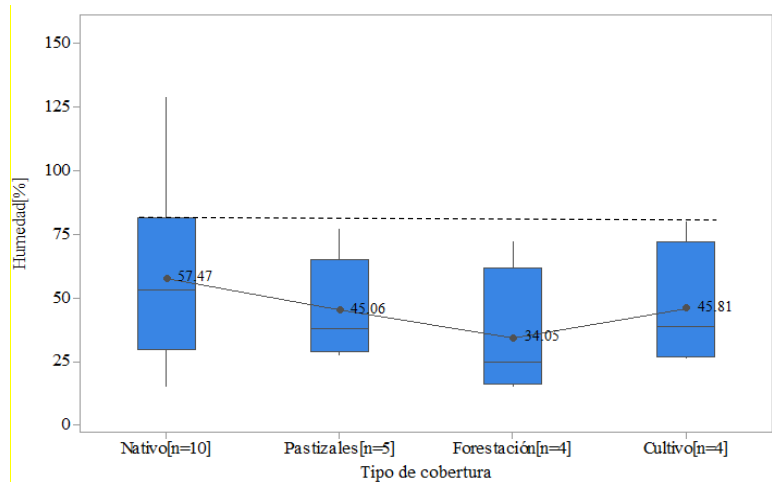


Figura 6. Humedad para distintas coberturas a nivel superficial en suelo de páramo.

En la Figura 7 se puede observar que la densidad aparente disminuye para la cobertura de preparación del suelo en comparación con el suelo de cobertura nativa, aunque para las coberturas de forestación, cultivos y pastizales aumenta en relación con la cobertura natural. Se evidenció que existe mayor dispersión en el 25% de los datos mayores para todas las coberturas, así como una disimetría positiva en cada grupo de datos. El aumento de la media de la densidad aparente de los suelos cultivados y pastizales, se debe a la compactación del suelo por actividades antrópicas (I. F. Benavides et al., 2018) y pisoteo del ganado (Avellaneda-Torres et al., 2018). Los suelos bajo cobertura forestal también presentan un aumento en la densidad aparente, lo que comprueba lo encontrado por Hofstede et al. (Hofstede et al., 2002).

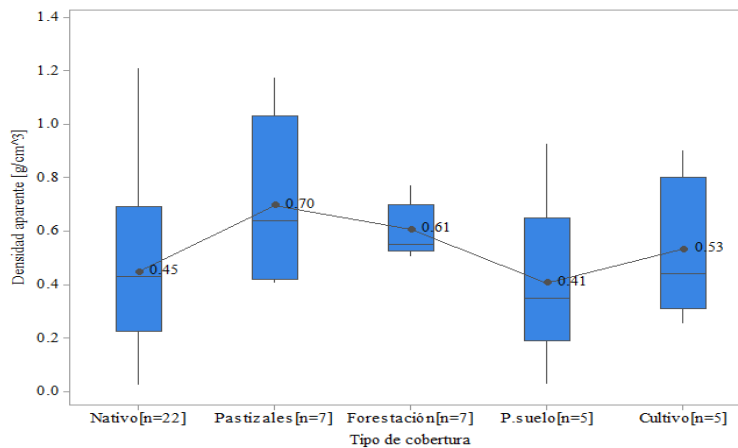


Figura 7. Densidad aparente para distintas coberturas a nivel superficial en suelo de páramo.

5. Conclusiones

Los territorios de alta montaña de los andes se han estudiado a lo largo del tiempo, con un incremento del número de publicaciones durante los últimos años. Este aumento es un reflejo de la preocupación de los investigadores por comprender el comportamiento de los ecosistemas de páramo. El deterioro debido a la intervención humana y el calentamiento global los hace vulnerables, por lo que es de gran interés conocer los efectos negativos de estas alteraciones para contrarrestarlas; su importancia radica en los servicios ecosistémicos que proporcionan, como el suministro de agua que brinda a muchas poblaciones andinas y el almacenamiento de carbono. El suelo es uno de los componentes de este bioma que más se estudia, ya que cumple una función muy importante en la regulación de la cantidad de agua que el páramo suministra; las propiedades que más se estudiaron en las investigaciones son la densidad aparente, el carbono orgánico y la

materia orgánica. Por otra parte, la humedad, la retención de agua, la porosidad y la conductividad hidráulica se estudiaron en menor proporción.

En la revisión sistemática se identificaron tres enfoques según el propósito de cada estudio. El primero de ellos consistía en evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura, el segundo enfoque recopilaba los estudios que comparaban el estado de los servicios hídricos del páramo natural frente al afecto antrópico y el último agrupaba las investigaciones cuyo interés era estudiar el almacenamiento de carbono; encontrando que el tercer enfoque fue el más trabajado. Dentro de las metodologías para el estudio de los parámetros se logró identificar que el tipo de muestreo se realizó por área, transecto o en un sitio específico. Se tomaron muestras alteradas e inalteradas a nivel superficial y mayores profundidades, puntuales o en un intervalo de tiempo. La mayoría de las mediciones de los parámetros se realizaron en laboratorio, aunque también se reportaron en campo.

Los métodos más utilizados para la medición de los parámetros fueron: método Walkley-Black para la medición del carbono orgánico, método de pérdida por ignición para medición de materia orgánica, método de membrana porosa para medición de retención, método gravimétrico para medición de la humedad, método volumétrico para medir la densidad aparente, método del orificio de la barrena invertida y método permeámetro de cabeza constante para medición de conductividad hidráulica. Es de resaltar que algunas de las investigaciones no reportaban que metodología aplicaron para la medición de los parámetros hidrofísicos, lo que evidencia falencias en estas investigaciones. Para el análisis de los datos se utilizaron pruebas estadísticas univariantes, multivariantes y análisis de correlaciones mediante el uso de software estadísticos.

El análisis de resultados se evidenció una disminución entre medias de humedad con respecto al suelo con vegetación nativa. El tipo de cobertura que presentó mayor disminución en la humedad

fue el suelo bajo forestación, lo que confirma lo encontrado por Farley et al. (Farley et al., 2004), donde se reportó una tendencia de reducción de la humedad en relación a la edad de los pinos. Por otra parte, el aumento de la media de la densidad aparente de los suelos cultivados y pastizales, se debe a la compactación del suelo por actividades antrópicas (I. F. Benavides et al., 2018) y pisoteo del ganado (Avellaneda-Torres et al., 2018). Los suelos bajo cobertura forestal también presentan un aumento en la densidad aparente, lo que comprueba lo encontrado por Hofstede et al. (Hofstede et al., 2002).

Se identificaron ventajas y limitaciones para algunas metodologías de medición de los parámetros aplicadas en laboratorio y metodologías de muestreo en campo en el proceso de ejecución y después del mismo. Se evidenció la afectación de las actividades antrópicas sobre el suelo del páramo como regulador de la cantidad de agua. La retención de agua fue una de las propiedades más afectadas (W. Buytaert et al., 2002; Daza Torres et al., 2014), se encontró relación entre la cantidad de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo como la densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica y permeabilidad (Camargo García et al., 2012). La alta humedad contribuye con la acumulación de carbono (Peña-Quemba et al., 2016) y este varía con la profundidad (Cargua et al., 2014).

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, M. F. C. (2016). *Ecohydrology of paramos in Colombia: vulnerability to climate change and land use*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/56394/>
- Aguirre, Z. (2015). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4, 45–52.
- Andrade Castañeda, H. J., Espinosa Gómez, E. L., & Moreno Baltán, H. A. (2014). Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaimé, Tolima, Colombia | Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaimé, Tolima, Colombia. *Zootecnia Tropical*, 32(1).
- Avellaneda-Torres, L. M., León Sicard, T. E., & Torres Rojas, E. (2018). Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of Neotropical high Andean Páramo ecosystem soils. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1600–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.137>
- Benavides, I. F., Solarte, M. E., Pabón, V., Ordoñez, A., Beltrán, E., Rosero, S., & Torres, C. (2018). The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a Paramo of southwestern Colombia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(4), 400–410. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.4.400>
- Benavides, J. C. (2015). The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes. *Mires and Peat*, 15.
- Bremer, L. L., Farley, K. A., Chadwick, O. A., & Harden, C. P. (2016). Changes in carbon storage with land management promoted by payment for ecosystem services. *Environmental Conservation*, 43(4), 397–406. <https://doi.org/10.1017/S0376892916000199>

- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 53–72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Buytaert, W., Deckers, J., Dercon, G., De Bièvre, B., Poesen, J., & Govers, G. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 18(2), 94–100.
- Buytaert, W., Deckers, J., & Wyseure, G. (2006). Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo). *Geomorphology*, 73(3–4), 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.012>
- Buytaert, W., Deckers, J., & Wyseure, G. (2007). Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70(2), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.003>
- Buytaert, W., Wyseure, G., De Bièvre, B., & Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, 19(20), 3985–3997. <https://doi.org/10.1002/hyp.5867>
- Camargo García, J. C., Dossman, M. Á., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., & Galvis Quintero, J. H. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica; Vol. 61, Núm. 2 (2012)*. Retrieved from https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35618
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., & Vinuesa, L. M. (2014). Quantification of carbon in a forest plantation of pine insigne (*Pinus radiata*) and moor stratum of low ozogoche, Sangay National Park, Ecuador | Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Pár. *Informacion Tecnológica*, 25(3), 83–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300011>
- Chacón, G., Gagnon, D., & Paré, D. (2009). Comparison of soil properties of native forests, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: Land use history or recent vegetation effects? *Soil Use and Management*, 25(4), 427–433. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00233.x>
- Chatterjee, A., Lal, R., Wielopolski, L., Martin, M. Z., & Ebinger, M. H. (2009). Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3),

- 164–178. <https://doi.org/10.1080/07352680902776556>
- Comas, X., Terry, N., Hribljan, J. A., Lilleskov, E. A., Suarez, E., Chimner, R. A., & Kolka, R. K. (2017). Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground-penetrating radar (GPR). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(2), 370–386. <https://doi.org/10.1002/2016JG003550>
- Cuervo-Barahona, E., & Cely-Reyes, G. (n.d.). Determination of the fractions of organic carbon in the ground of the Páramo La Cortadera–Boyacá. *Repository.Usta.Edu.Co*. Retrieved from <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/4984>
- 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; Vol. 67, Núm. 1 (2014)DO - 10.15446/Rfnam.V67n1.42642*. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/42642>
- Farley, K. A., Bremer, L. L., Harden, C. P., & Hartsig, J. (2013). Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: Implications for payment for ecosystem services. *Conservation Letters*, 6(1), 21–27. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00267.x>
- Farley, K. A., Kelly, E. F., & Hofstede, R. G. M. (2004). Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729–739. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5>
- G. J. Nierop, K., Tonneijck, F., Jansen, B., & M. Verstraten, J. (2007). Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect. *Soil Science Society of America Journal - SSSAJ*, 71, 1119–1127.
- Guio Blanco, C. M., Brito Gomez, V. M., Crespo, P., & Ließ, M. (2018). Spatial prediction of soil water retention in a Páramo landscape: Methodological insight into machine learning using random forest. *Geoderma*, 316, 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.002>
- Gutiérrez, M. (2015). Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero, 113. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50818/1/53120928.2015.pdf>

- Gutiérrez, M. L., & Gutiérrez, M. L. (2015). Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero.
- Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, 79(3–4), 249–263. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021>
- Hofstede, R. G. M., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., & Sevink, J. (2002). Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development*, 22(2), 159–167. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0159:IOPPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0159:IOPPOS]2.0.CO;2)
- Hribljan, J. A., Suárez, E., Heckman, K. A., Lilleskov, E. A., & Chimner, R. A. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian páramo. *Wetlands Ecology and Management*, 24(2), 113–127. <https://doi.org/10.1007/s11273-016-9482-2>
- Iñiguez, V., Morales, O., Cisneros, F., Bauwens, W., & Wyseure, G. (2016). Analysis of the drought recovery of Andosols on southern Ecuadorian Andean páramos. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2421–2435. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2421-2016>
- Marulanda, J., & Villa, J. (2015). Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. *Journal of Engineering and Technology*, 4, 8–20.
- Minaya, V. (2016). Ecohydrology of the Andes Páramo Region, 232.
- Minaya, V., Corzo, G., Romero-Saltos, H., Van Der Kwast, J., Lantinga, E., Galárraga-Sánchez, R., & Mynett, A. (2016). Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo, Ecuadorian Andes. *Journal of Plant Ecology*, 9(5), 553–563. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv073>
- Montes-Pulido, C. R., Miras, J. J. R., & Wery, A. M. S. J. (2017). Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca-Colombia. *Acta Agronomica*, 66(1).
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., ... Arias, S. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments.

- Hydrological Processes*, 30(22), 4074–4089. <https://doi.org/10.1002/hyp.10980>
- Ordoñez, M.-C., Galicia, L., Figueroa, A., Bravo, I., & Peña, M. (2015). Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 71, 28–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.10.001>
- Peña-Quemba, D., Rubiano-Sanabria, Y., & Riveros-Iregui, D. (2016). Effects of land use on soil CO₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia | Efectos del uso del suelo sobre el flujo de CO₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(3), 364–373. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n3.58791>
- Podwojewski, P., & Germain, N. (2005). Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua) in Ecuador. *European Journal of Soil Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00638.x>
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (n.d.). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*, 18(1), 45–55. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00049.x>
- Poulénard, J., Podwojewski, P., Janeau, J.-L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. *Catena*, 45(3), 185–207. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5)
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO: PÁRAMO DE QUIMSACOA AL SUR DEL ECUADOR. *Suelos Ecuatoriales*, 42, 138–156.
- Quintero, M., Wunder, S., & Estrada, R. D. (2009). For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1871–1880. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.04.032>
- Reyes, J., Thiers, O., & Gerding, V. (2014). Characterization of soil properties of *Nothofagus* spp. forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile. *JOURNAL OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION*, 14(1), 101–113.

- Reyes, J., Thiers, O., Gerding, V., & Donoso, P. (2014). Effect of scarification on soil change and establishment of and artificial forest regeneration under *Nothofagus* spp. in Southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *14*(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000009>
- Roa-Garcia, M. C., Brown, S., Schreier, H., & Lavkulich, L. M. (2011). The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes. *WATER RESOURCES RESEARCH*, *47*. <https://doi.org/10.1029/2010WR009582>
- Schnetter, R., Lozano Contreras, G., Schnetter, M. L., & Cardozo G., H. (1976). Estudios ecológicos en el Paramo de Cruz Verde, Colombia I. Ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. *Caldasia*; Vol. 11, Núm. 54 (1976). Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/34316>
- Tonneijck, F. H., Hageman, J. A., Sevink, J., & Verstraten, J. M. (2008). Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador. *Geoderma*, *144*(1–2), 231–247. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.11.009>
- Tonneijck, F. H., Jansen, B., Nierop, K. G. J., Verstraten, J. M., Sevink, J., & De Lange, L. (2010). Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. *European Journal of Soil Science*, *61*(3), 392–405. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01241.x>
- Tonneijck, F. H., & Jongmans, A. G. (2008). The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador. *EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE*, *59*(6), 1063–1075. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01061.x>
- Urbina, J. C., & Benavides, J. C. (2015). Simulated Small Scale Disturbances Increase Decomposition Rates and Facilitates Invasive Species Encroachment in a High Elevation Tropical Andean Peatland. *Biotropica*, *47*(2), 143–151. <https://doi.org/10.1111/btp.12191>
- Valencia-Leguizamón, J., & Tobón, C. (2017). Influence of vegetation on the hydrological functioning of tropical high mountain wetlands basins | Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas*, *26*(2), 10–17. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.02>

Valencia, J., Lassaletta, L., Velázquez, E., Nicolau, J. M., & Gómez-Sal, A. (2013). Factors Controlling Compositional Changes in a Northern Andean Páramo (La Rusia, Colombia). *Biotropica*, 45(1), 18–26. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00895.x>

Apéndices

Apéndice A. Análisis en el tiempo de las publicaciones.

Nombre artículo	Año publicación	País de estudio
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres, Hernández Flórez, & Triana, 2014)	2013	Colombia
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los Andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley, Kelly, & Hofstede, 2004)	2004	Ecuador
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los Andes Septentrionales y Centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	2006	Ecuador
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba, Rubiano-Sanabria, & Riveros-Iregui, 2016)	2016	Colombia
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning) (Poulenard, Podwojewski, Janeau, & Collinet, 2001)	2001	Ecuador
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	2002	Ecuador
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido, Miras, & Wery, 2017)	2017	Colombia
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, & Sevink, 2002)	2002	Ecuador

Nombre artículo	Año publicación	País de estudio
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert, Deckers, & Wyseure, 2007)	2007	Ecuador
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard, Podwojewski, & Herbillon, 2003)	2003	Ecuador
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda, Espinosa Gómez, & Moreno Baltán, 2014)	2014	Colombia
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoché, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua, Rodríguez, Recalde, & Vinuesa, 2014)	2014	Ecuador
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia, Lassaletta, Velázquez, Nicolau, & Gómez-Sal, 2013)	2012	Colombia
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley, Bremer, Harden, & Hartsig, 2013)	2012	Ecuador
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres, León Sicard, & Torres Rojas, 2018)	2018	Colombia
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert, Wyseure, De Bièvre, & Deckers, 2005)	2005	Ecuador
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	2017	Ecuador
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)	2010	Ecuador

Nombre artículo	Año publicación	País de estudio
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, Andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	2015	Ecuador
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	2015	Colombia
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un Páramo del Suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	2018	Colombia
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el Páramo Ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskov, & Chimner, 2016)	2016	Ecuador
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los Andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	2014	Colombia
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper, Kaczynski, Slayback, & Yager, 2015)	2018	Bolivia
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	2014	Chile
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, & Donoso, 2014)	2014	Chile
¿Para los servicios prestados? modelización de la hidrología y los medios de subsistencia en los pagos andinos para esquemas de servicios ambientales. (For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes.) (Quintero, Wunder, & Estrada, 2009)	2009	Perú y Ecuador
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	2012	Ecuador
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage	2015	Colombia

Nombre artículo	Año publicación	País de estudio
services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez, Galicia, Figueroa, Bravo, & Peña, 2015)		
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García, Dossman, Rodríguez, Arias, & Galvis Quintero, 2012)	2012	Colombia
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonnejck & Jongmans, 2008)	2008	Ecuador
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop, Tonnejck, Jansen, & M. Verstraten, 2007)	2007	Ecuador
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los Andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García, Brown, Schreier, & Lavkulich, 2011)	2011	Colombia
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji. (Azocar & Monasterio, 1980)	1980	Venezuela
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonnejck, Hageman, Sevink, & Verstraten, 2008)	2008	Ecuador
Estudios ecológicos en el Páramo de cruz verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. (Schnetter, Lozano Contreras, Schnetter, & Cardozo G., 1976)	1976	Colombia
Evaluación de diferentes métodos de determinación de carbono en el suelo. (Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods.) (Chatterjee, Lal, Wielopolski, Martin, & Ebinger, 2009)	2009	--
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo La Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	2016	Colombia
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert, Deckers, & Wyseure, 2006)	2002	Ecuador
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski, Poulenard, Zambrana, & Hofstede, 2002)	2006	Ecuador
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yacuri, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)	2014	Ecuador
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)	2015	Colombia

Nombre artículo	Año publicación	País de estudio
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	2016	Colombia
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	2015	Colombia
Ecohidrología de la región del páramo andino. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	2016	Ecuador
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus Patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón, Gagnon, & Paré, 2009)	2009	Ecuador
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)	2005	Ecuador

Tabla 1. Artículos revisados.

AÑO	No. ESTUDIOS
2000	0
2001	1
2002	3
2003	1
2004	1
2005	2
2006	2
2007	2
2008	2
2009	3
2010	1
2011	1
2012	4
2013	1
2014	6
2015	5
2016	5
2017	2
2018	3

Tabla 2. Número de estudios según el año de publicación.

Publicaciones del año 2000 hacia adelante.

PAIS	No. ESTUDIOS
Ecuador	25
Colombia	17
Chile	2
Venezuela	1
Perú	1
Bolivia	1

Tabla 3. Número de estudios según el país de estudio.

Apéndice B. Análisis de los objetivos de las investigaciones.

ARTICULO	OBJETIVOS					
	A. Evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	x				x	x
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los Andes Ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes). (Farley et al., 2004)			x	x	x	
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los Andes Septentrionales y Centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes). (Harden, 2006)			x		x	
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	x				x	
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la Altiplanicie Ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	x		x		x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	A. Evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	x					x
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	x	x		x		x
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils). (Avellaneda-Torres et al., 2018)	x					x
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)						x
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región					x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	A. Evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)						
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>Nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)		x			x	
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	x	x	x	x	x	
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	x				x	
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en El Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)		x			x	
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji (Azocar & Monasterio, 1980)					x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	A. Evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo producto del cambio de la cobertura.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)			x		x	
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de <i>Pinus patula</i> y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, <i>Pinus patula</i> plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)			x	x	x	
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)	x	x				

Tabla 4. Enfoque A identificado a partir de los objetivos.

ARTICULO	OBJETIVOS					
	B. Comparar el estado de los servicios hídricos del páramo natural frente al efecto antrópico.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning). (Poulenard et al., 2001)	x					x
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	x				x	
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	x				x	
¿Para los servicios prestados? modelización de la hidrología y los medios de subsistencia en los pagos andinos para esquemas de servicios ambientales. (For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes.) (Quintero et al., 2009)	x			x		
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los Andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)						x

ARTICULO	OBJETIVOS					
	B. Comparar el estado de los servicios hídricos del páramo natural frente al efecto antrópico.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Estudios ecológicos en el páramo de cruz verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. (Schnetter et al., 1976)					x	
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)			x		x	x
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	x				x	x
Ecohidrología de la región del páramo andino. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)			x		x	

Tabla 5. Enfoque B identificado a partir de los objetivos.

ARTICULO	OBJETIVOS					
	C. Estudiar almacenamiento de carbono.					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Efectos del uso de la tierra en el flujo de co2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	x		x		x	
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz,	x				x	x

ARTICULO	OBJETIVOS					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
Cundinamarca-Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)						
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)					x	
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)						x
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoche, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua et al., 2014)				x	x	
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)		x		x		
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo					x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)						
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)					x	
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, Andes Ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)			x		x	
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el Páramo Ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)					x	
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)					x	
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por Distichia Muscoides, Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in					x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
peatlands dominated by distichia muscoides, Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)						
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de materia orgánica del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)			x		x	
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop et al., 2007)					x	
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonneijck et al., 2008)			x		x	
Evaluación de diferentes métodos de determinación de carbono en el suelo. (Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods.) (Chatterjee et al., 2009)					x	
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo La Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	x		x		x	
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yacuri, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)					x	
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un					x	

ARTICULO	OBJETIVOS					
	Cultivos	Preparación del suelo	Pastizales y pradera	Reforestación	Vegetación nativa	Ganadería
humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)						
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	x				x	x

Tabla 6. Enfoque C identificado a partir de los objetivos.

OBJETIVO	No. Artículos
Enfoque 1	18
Enfoque 2	9
Enfoque 3	20

Tabla 7. Numero de artículos según enfoque.

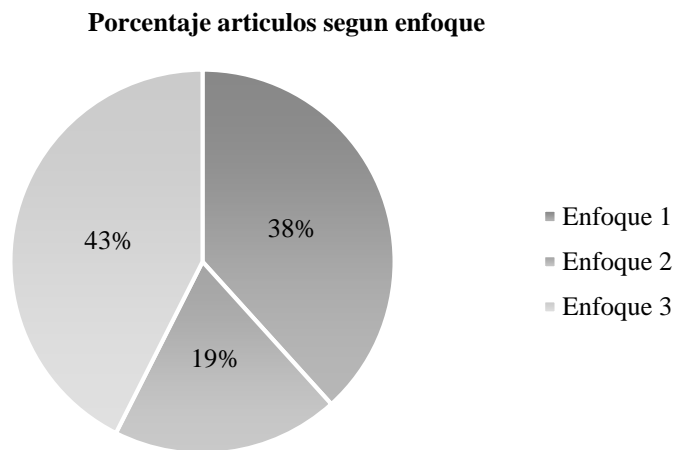


Figura 1. Porcentajes de artículos según enfoque.

OBJETIVO A	No. Artículos
Cultivos	9
Preparación suelo	6
Pastizales y pradera	6
Reforestación	4
Vegetación nativa	13
Ganadería	5
OBJETIVO B	No. Artículos
Cultivos	5
Preparación suelo	0
Pastizales y pradera	2
Reforestación	1
Vegetación nativa	6
Ganadería	4
OBJETIVO C	No. Artículos
Cultivos	4
Preparación suelo	1
Pastizales y pradera	5
Reforestación	2
Vegetación nativa	18
Ganadería	3

Tabla 8. Número de artículos según enfoque.

Apéndice C. Parámetros hidrofísicos estudiados en las investigaciones.

Artículo	A. Carbono orgánico
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres et al., 2014)	x
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	x
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	x
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	x
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	x
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	x
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. en estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoché, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua et al., 2014)	x
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)	x
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	x
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	x

Artículo	A. Carbono orgánico
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	x
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del Norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)	x
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, Andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	x
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	x
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el Páramo Ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)	x
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	x
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)	x
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	x
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	x
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	x
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	x
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	x
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) 31]	x
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop et al., 2007)	x

Artículo	A. Carbono orgánico
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonneijck et al., 2008)	x
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos (Schnetter et al., 1976)	x
Evaluación de diferentes métodos de determinación de carbono en el suelo. (Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods.) (Chatterjee et al., 2009)	x
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo La Cortadera, Boyacá. (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	x
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)	x
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yasuni, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)	x
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	x
Ecohidrología de la región del páramo andino. (Verónica Minaya, 2016)	x
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	x

Tabla 9. Artículos que analizaron el carbono orgánico del suelo.

ARTICULOS	B. RETENCIÓN DE AGUA			
	Saturación	10 kPa	33 kPa	1500 kPa
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	x		x	x
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los Andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x	x	x	x
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning) (Poulenard et al., 2001)		x		x
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)			x	x

ARTICULOS	B. RETENCIÓN DE AGUA			
	Saturación	10 kPa	33 kPa	1500 kPa
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	x		x	x
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)				x
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)				x
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles histéricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)				x
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)				x
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)				x
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)				x
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)				x
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)				x
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los Andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Camargo García et al., 2012)		x		x
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. (Schnetter et al., 1976)			x	
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecuatorianas del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)	x			x

ARTICULOS	B. RETENCIÓN DE AGUA			
	Saturación	10 kPa	33 kPa	1500 kPa
Ecología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)		x	x	x

Tabla 10. Artículos que analizaron la retención de agua del suelo.

Articulos	C. Densidad aparente	D. Conductividad hidráulica
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	x	
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x	
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	x	
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning) (Poulenard et al., 2001)	x	x
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	x	
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	x	
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	x	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	x	x
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	x	
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil	x	

Artículos	C. Densidad aparente	D. Conductividad hidráulica
organic storage carbon in high lands of Anaimé, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)		
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	x	
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	x	
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles histéricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	x	x
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	x	
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonnejck et al., 2010)	x	
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	x	
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	x	
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)	x	
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	x	
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)	x	

Artículos	C. Densidad aparente	D. Conductividad hidráulica
Caracterización de las propiedades del suelo de nothofagus spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of Nothofagus spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	x	
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Characterization of soil properties of Nothofagus spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	x	
¿Para los servicios prestados? modelización de la hidrología y los medios de subsistencia en los pagos andinos para esquemas de servicios ambientales. (For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes.) (Quintero et al., 2009)		x
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	x	x
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	x	
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	x	x
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. . (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)	x	
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)	x	x
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el páramo de Mucubaji. (Azocar & Monasterio, 1980)		x
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador)) (Femke H. Tonneijck et al., 2008)	x	
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)	x	x
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el páramo de Llangahua y la esperanza (Tungurahua, ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and	x	

Artículos	C. Densidad aparente	D. Conductividad hidráulica
properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)		
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015).	x	
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	x	
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	x	
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)	x	

Tabla 11. Artículos que analizaron la densidad aparente y conductividad hidráulica del suelo.

Artículos	E. Porosidad	F. Materia orgánica	G. Humedad
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres et al., 2014)	x	x	x
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x	x	x
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	x	x	x
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)			x
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning) (Poulenard et al., 2001)	x	x	x
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)		x	x

Artículos	E. Porosidad	F. Materia orgánica	G. Humedad
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)		x	x
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	x		
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	x	x	
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)		x	x
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)		x	x
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	x		x
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)		x	
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)	x	x	
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)		x	
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small		x	x

Artículos	E. Porosidad	F. Materia orgánica	G. Humedad
scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)			
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)		x	x
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)		x	
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)		x	x
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)		x	
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>Nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	x	x	x
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>Nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)		x	x
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador (Quichimbo et al., 2012)	x	x	x
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)		x	x

Artículos	E. Porosidad	F. Materia orgánica	G. Humedad
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	x	x	x
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)		x	
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop et al., 2007)		x	
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)	x		x
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji (Azocar & Monasterio, 1980)			x
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos (Schnetter et al., 1976)			x
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)		x	
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador).) (Podwojewski et al., 2002)			x
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)		x	
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	x	x	x
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)		x	x
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent		x	

Artículos	E. Porosidad	F. Materia orgánica	G. Humedad
pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)			
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)		x	

Tabla 12. Artículos que analizaron la porosidad, materia orgánica y humedad del suelo.

Parámetro	No. Artículos	%
Carbono orgánico	34	72
Retención de agua	17	36
Densidad aparente	34	72
Conductividad hidráulica	9	19
Porosidad	13	28
Materia orgánica	30	64
Humedad	24	51

Tabla 13. Artículos que analizaron los parámetros hidrofísicos.

Apéndice D. Tipo de muestreo en las investigaciones.

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres et al., 2014)	x	4.5-10 ha, 4 parcelas 1m ² cada una	
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x	parcelas 0.02 ha	x
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	x	23 parcelas 4 m ² cada una	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	x	parcelas: 1m ² cada una	x 3 transectos
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning). (Poulenard et al., 2001)	x	3 parcelas: 1m ² cada una	
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)			x
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	x	2 sitios 6 ha cada uno	

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	x	76 unidades de muestreo 200 m ² cada una	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)			x
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	x		
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	x	18 unidades experimentales	
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insignie (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insignie (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoche, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua et al., 2014)	x	6 parcelas de 3600 m ² cada una	
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	x	4650 ha, 50 parcelas 2500 m ² cada una	
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbón storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)	x	parcela de 200 m ² alrededor de cada transecto, 4 subparcelas (3 de 2m ² y 1 de 1 m ²) en cada parcela	x 3 transectos de 20 m espaciados uniformemente.
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino	x	9 ventanas de observación de 100 m ² cada una	x transecto en zigzag

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
<p>neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)</p> <p>El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)</p>			x
<p>Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)</p>			x
<p>Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)</p>	x	<p>recolección de lecho de bosque y páramo: área superficial 0.25m²</p>	x
<p>Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)</p>	x	<p>27 parcelas permanentes de muestreo (225m² cada una) se dividieron en subparcelas de 2 m²</p>	
<p>Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)</p>	x	<p>6 parcelas 5m² dividida cada una en 4 subparcelas de 1m²</p>	
<p>La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in</p>	x	<p>San José: 206 ha, Noguera: 120 ha</p>	

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)			
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el Páramo Ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)			x
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	x		
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)			x
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>Nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	x	brecha antigua: 400 m ² , brecha nueva: 750 m ²	
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>Nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	x	10 parcelas rectangulares de 500 m ²	
¿Para los servicios prestados? modelización de la hidrología y los medios de subsistencia en los pagos andinos para esquemas de servicios ambientales. (For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes.) (Quintero et al., 2009)			x
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest	x	36 área de 10 x 10 m ² por transectos	x
			3 transectos transversales y dos longitudinales

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Quichimbo et al., 2012)			
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	x	área total de 594.08 ha; parcelas experimentales de 200 m ² ; 6 subparcelas dividieron en 25 parcelas secundarias de 8 m ²	
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	x	18 parcelas de muestreo de 10x10 m	
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)	x	bosque (g1), bosque actual (g5a), área con vegetación de páramo (g5b), paramo (g7)	
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop et al., 2007)			x g1(bosque), g5a (parche forestal en páramo), g5b (páramo), g7(páramo)
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los Andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)	x	barro blanco (bb) [0.6 km ²], bolillos 1 (b1) [1.5 km ²], bolillos 2 (b2) [1.7 km ²]	x
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji. (Azocar & Monasterio, 1980)			x
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonneijck et al., 2008)			x
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos (Schnetter et al., 1976)			x
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo la			x

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.) Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)			x
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)	x	el área cubre 50 km ²	
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yasuni, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)	x	las parcelas tuvieron una dimensión de 4 m ² (2 x 2 m) para el arbustivo; y, de 1 m ² (1 x 1 m) para el herbáceo, instaladas al azar.	
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña (Marulanda & Villa, 2015)			x
Ecohidrología de los Páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Marulanda & Villa, 2015)	x	Páramo de Belmira (5 sitios), Páramo de Chingaza (30 sitios), Páramo de Romerales (9 sitios).	x
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	x	1508 ha	x se trazaron tres transectos cada uno con 11 o 12 puntos
Ecohidrología de la región páramo andes. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	x	27 parcelas (225 m ²), divididas en subparcelas de 4 m ²	
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de <i>Pinus patula</i> y los pastizales adyacentes en	x	parcelas de 100 m ²	

ARTICULO	MUESTREO		
	Por área	Por transectos	Sitio específico
las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)			
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)	x	5 parcelas, divididas en 20 subparcelas.	

Tabla 14. Tipo de muestreo para cada estudio.

Apéndice E. Profundidad de muestreo y peso de las muestras alteradas en las investigaciones.

ARTICULO	MUESTREO		
	Profundidad		Muestras alteradas Peso (kg)
	>15 cm	<= 15 cm	
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)		x	
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	x	x	
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)		x	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	x	x	
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning). (Poulenard et al., 2001)	x	x	
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	x	x	1
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	x	x	1
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	x	x	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	x	x	0.5 kg/horizonte

ARTICULO	MUESTREO		Muestras alteradas Peso (kg)
	Profundidad		
	>15 cm	<= 15 cm	
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídras de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	x		
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	x	x	200 g
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoché, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua et al., 2014)	x	x	
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	x		
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)	x	x	
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	x	x	
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)		x	1kg/horizonte
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	x	x	
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador). (F.H. Tonneijck et al., 2010)			1kg
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	x	x	

ARTICULO	MUESTREO		Muestras alteradas Peso (kg)
	Profundidad		
	>15 cm	<= 15 cm	
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	x	x	
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	x	x	1 kg
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)	x	x	
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	x	x	
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)	x		
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>Nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	x	x	
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo <i>Nothofagus</i> spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under <i>Nothofagus</i> spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	x	x	
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	x	x	
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	x		

ARTICULO	MUESTREO		Muestras alteradas Peso (kg)
	Profundidad		
	>15 cm	<= 15 cm	
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	x	x	
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonnejck & Jongmans, 2008)	x	x	
Materia orgánica en suelos de cenizas volcánicas bajo bosque y páramo a lo largo de un transecto altitudinal ecuatoriano. (Organic Matter in Volcanic Ash Soils under Forest and Páramo along an Ecuadorian Altitudinal Transect.) (G. J. Nierop et al., 2007)	x	x	1 kg
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji (Azocar & Monasterio, 1980)	x	x	
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonnejck et al., 2008)	x	x	1 kg
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. (Schnetter et al., 1976)	x	x	
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo la Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	x	x	750 gr
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)	x	x	
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)	x	x	
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yacuri, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)	x	x	500 g
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)	x	x	
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	x	x	
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	x	x	
Ecohidrología de la región páramo Andes. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	x	x	
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas	x		

ARTICULO	MUESTREO		Muestras alteradas Peso (kg)
	Profundidad		
	>15 cm	<= 15 cm	
andinas del sur de ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)			

Tabla 15. Profundidad y muestras alteradas.

Apéndice F. Características de las muestras inalteradas en las investigaciones.

ARTICULO	Volumen (cm ³)	MUESTRAS INALTERADAS		
		Criterio selección	Numero	Instrumento
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	68.71	Muestras tomadas de las 4 paredes de la calicata por cada horizonte. 12 por parcela.	48	Barreno
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	100	Tomadas desde la mitad del horizonte. 10 por parcela	100	
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)		1 muestra/cada parcela y 1 muestra a 1 metro de la primera	46	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de co2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)		Mediciones en 36 sitios de muestreo (3 repeticiones por parcela)	108	
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	100		4	Anillos Kopecky (100 cm ³) y caja de hierro de 20x20x10 cm
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)		15 sitio frailejones, 15 sitio cultivo de papa	30	

ARTICULO	Volume n (cm ³)	MUESTRAS INALTERADAS		
		Criterio selección	Numero	Instrumento
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)		Muestras volumétricas de la capa superficial del suelo y una muestra adicional	77	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	100			Anillos de acero (D= 5 cm, V=100 cm ³)
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	100			
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	100.13	Se obtuvo una muestra combinada de suelo por parcela	18	Barreno
Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (<i>Pinus radiata</i>) y en estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. (Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (<i>Pinus radiata</i>) and Moor Stratum of Low Ozogoché, Sangay National Park, Ecuador) (Cargua et al., 2014)		Muestras de suelo a tres profundidades.	18	
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)		En cada parcela: 10 muestras compuestas de suelos a 10 profundidades diferentes	500	
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)	21.64	Tomaron 11-15 muestras por sitio (3-5 muestras por transecto), a 2 profundidades y 4 muestras en cada subparcela	≈ 102	Perforador de suelo

ARTICULO	Volumen (cm ³)	MUESTRAS INALTERADAS		
		Criterio selección	Numero	Instrumento
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)		3 usos de tierra x 3 altitudes x 2 estaciones x 3 ventanas de observación	54	
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	100	3 perfiles de suelo x 12 muestras; En Queseras 40 muestras; Huagrama 56 muestras	132	Anillos de acero de 100 cm ³ .
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)				sinfín de gubia de cara abierta, captador de turba ruso
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)	100 200 1500			Anillos (v=100 cm ³) Canalones metálicos (1500 cm ³) descorazonador (D=0,75 cm)
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)		En cada parcela, se recolectó una muestra de suelo superior en cada punto cardinal, a 3 m de distancia del borde	108	Descortezador de suelo de 70 mm (EIJKELKA MP, modelo GM085).
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)		Recolección de muestras de turba en el centro de cada subparcela, a 3 profundidades	72	Núcleos de PVC L=30 cm

ARTICULO	Volumen (cm ³)	MUESTRAS INALTERADAS		
		Criterio selección	Numero	Instrumento
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)				Sinfín de gubia D=6,35 cm; Barrenador de turba ruso
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	502.7			Descorazonador
Caracterización de las propiedades del suelo de nothofagus spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of Nothofagus spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	100			Cilindros v=100 cm ³
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under Nothofagus spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	100	Por parcela (10), 25 muestras por profundidad de:(0-10), (10-20); Además de 10 muestras por profundidad para cada parcela	700	
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)	100			Anillos de Kopecky V=100 cm ³
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)		Por cada subparcela se tomaron tres muestras (6*3=18) compuestas, 18 muestras por 12 meses del año (18*12=216)	216	
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in	140 cm ³ 1500 cm ³		128	Cajas inalteradas Canaletas metálicas

ARTICULO	MUESTRAS INALTERADAS			
	Volume n (cm ³)	Criterio selección	Numero	Instrumento
volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)				
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)		Correspondientes a los tres principales tipos de uso de la tierra (pastizales, bosques ribereños y bosques de plantación)	24	
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonneijck et al., 2008)	100 cm ³			Anillo
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos. (Schnetter et al., 1976)	140 cm ³			Cajas
	313.51 cm ³			Taladro para suelo
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo La Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)		70 puntos de muestreo, se tomaron muestras a dos profundidades [(0-15 cm] [(15-30)] en cada punto de muestreo	70	
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)	100 cm ³			Anillos Kopecky
Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yasuni, Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. (Aguirre, 2015)		Se instaló 55 calicatas de 0,50 m ³ (1 m x 1 m x 0,50 m), 19 para el páramo arbustivo y 36 para el páramo herbáceo, divididas en tres horizontes (0-20; 20-40; 40-60 cm). Se extrajeron muestras representativas.	165	
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)	66.37 cm ³ , con incremento de 2			Muestreador universal de sedimentos.

ARTICULO	Volumen (cm ³)	MUESTRAS INALTERADAS		
		Criterio selección	Numero	Instrumento
	cm en la altura respectivamente			
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	331 cm ³			
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	100 cm ³			
	49 cm ³			
Ecohidrología de la región del páramo andino. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	Tres muestras por diagonal de parcela			
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)	282.7 cm ³	Se recogieron muestras del horizonte de la superficie en núcleos de 6 cm de diámetro y 10 cm de profundidad en cada parcela con tres repeticiones dispersas aleatoriamente en la parcela.	15	

Tabla 16. Tipo de muestras.

Apéndice G. Metodologías de medición de las investigaciones.

ARTICULO	MEDICION EN CAMPO	
	HUMEDAD	CARBONO DEL SUELO
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los Andes Septentrionales y Centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	Medición insitu de VMC: Se desplego un reflectómetro de dominio de tiempo (TDR) Hydrosense	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	Sistema de medición Pórtatil Hydrosense II.	
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)		Método de Radar Penetrante en Tierra (GPR)Adquisición de datos mediante GPR:Perfiles de desplazamiento constante (CO),Estudios de punto medio común (CMP)
Evaluación de diferentes métodos de determinación de carbono en el suelo. (Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods.) (Chatterjee et al., 2009)		*Mid- and near-infrared reflectance spectroscopy (MIRS/NIRS) *Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) *Inelastic neutron scattering (INS)
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)	A través de la técnica Time Domain Reflectometry (TDR), utilizando sensores TDR CS625 y CS616 (Campbell Scientific ®)	

Tabla 17. Mediciones en campo.

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	Walkley-Black ASTM D422-63 (2007)		Desorción a presión de 10;33;100;500;1000;1500 kPa ASTM D6836 02 (2008)
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	Analizador Leco 1000 CHN.		Placas de presión
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)		Pérdida por calcinación, muestra secada a 550 °C / 2 horas	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de co2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	COT: Combustión total seca (analizador elemental)		
Escorrentía y erosión del suelo bajo la simulación de lluvia de Andisoles del páramo ecuatoriano: efecto de labranza y quema. (Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning) (Poulenard et al., 2001)			Método de placa
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador) (W. Buytaert et al., 2002)	Walkley & Black		Método de membrana porosa
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de	Espectrofotometría		

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)			
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	Análisis elemental método de Dumas en un EAS vanoMax W/CN		Método de placa de succión.
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)	Analizador automático Carlo Erba de CHN		Método de la placa; Método de membrana a presión
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	Método de Walkley y Black		
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)		Método Walkley- Black	
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses	Analizador elemental Carlo Erba NCS 2500		

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)			
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	Método de Walkley y Black; analizador elemental LECO 1000		
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)			Celda de presión de membrana porosa Curva de retención: Modelo de Mualem-Van Genuchten
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	Analizador elemental	Pérdida de ignición (550 ° C durante un mínimo de 5 h)	
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)	Analizador Elemental VarioELCNS (Elementar, Hanau, Alemania).		Tabla de caolín, Aparato de membrana de presión cerámica Curvas de retención: Ley Laplace-Jurin.
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of	Analizador de elementos CHN-O		

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	EA1108, Método de combustión de Dumas		
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	Método de digestión con ácido Walkley Black	Método de digestión con ácido Walkley Black	
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. (Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)	Analizador elemental (Costech 4010, Valencia, CA, EE. UU. Y Fisons NA 1500, Lakewood, NJ, EE. UU.).		
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)		Combustión en un horno de mufla durante 16 horas a 350 ° C.	
Crecimiento y producción de carbono orgánico en turberas dominadas por <i>Distichia Muscoides</i> , Bolivia, América del Sur. (Growth and organic carbon production in peatlands dominated by <i>distichia muscoides</i> , Bolivia, south America) (Cooper et al., 2015)		la muestra se quemó en un horno de mufla a 550 ° C durante 7 h	
Caracterización de las propiedades del suelo de <i>Nothofagus</i> spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of <i>Nothofagus</i> spp. Forest with and	Oxidación con dicromato de sodio y ácido sulfúrico		

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)			
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under Nothofagus spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	Oxidación con dicromato de sodio y ácido sulfúrico		
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)		Analizándolos a través del método de Pérdida de Peso al Encender (Abella et al., 2007)	
Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el Páramo de Guerrero. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	Walkley-Black Springer and Klee Pérdida por ignición Combustión seca Espectroscopía de resonancia nuclear magnética. Reflectancia difusa infrarroja de transformada de Fourier		
Ecohidrología de la región andes páramo. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	Se midieron con un Analizador de Elemento CHN-O EA1108 (Instrumento de Fisonex) usando el Método de Combustión de Dumas (Dumas 1826, citado por Buckee 1994).		
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras	Método de extracción de fumigación (Brookes et al., 1985) para suelos secados al	Pérdida de ignición a 550 ° C durante 2 h	

ARTICULO	ANALISIS DE LABORATORIO		
	CARBONO ORGÁNICO	MATERIA ORGÁNICA	RETENCIÓN DE AGUA
altas andinas del sur de ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	aire (Pare' & Bergeron, 1996).	(Grimshaw, 1989).	

Tabla 18. Análisis de laboratorio: Carbono orgánico, materia orgánica y retención de agua.

ARTICULO	ANALISIS DE LABORATORIO	
	HUMEDAD	DENSIDAD APARENTE
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres et al., 2014)		Método del cilindro ASTM D7263-09
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	Método gravimétrico	Muestras secadas al horno 24 h a 105 °C
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los andes septentrionales y centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	Método gravimétrico	Determinada a partir de humedad gravimétrica y volumétrica
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)		Kopecky
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)		Método de parafina
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in		Núcleos de suelo pesados después de secar durante 24 horas a 105°C

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO	
	HUMEDAD	DENSIDAD APARENTE
south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)		
Características de los Andisoles no alofánicos con propiedades hídricas de los páramos ecuatorianos. (Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian paramos) (Poulenard et al., 2003)		Usando núcleos de 100 cm ³
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)		Método del cilindro (100.13 cm ³)
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	Ponderando la muestra antes y después de secar a 105 °C durante 24 horas.	Masa del suelo (105 °C seca) /volumen del cilindro en el que se tomó la muestra.
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	Método gravimétrico (IGAC 2"6)	Método del cilindro (IGAC 2006)
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles histéricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	Gravimétricamente (secado durante 24 ha 105 ° C)	Muestras secadas durante 24 ha 105 ° C.
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)		Se dividió la masa de suelo secada al horno por el volumen de muestra original
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)		Pesando muestras secadas al horno: Muestras orgánicas: 70°C por 48 h Muestras minerales: 105°C por 44 h
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high		Relación de peso saturado frente a peso seco de una muestra de turba

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO	
	HUMEDAD	DENSIDAD APARENTE
elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)		
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	Método gravimétrico.	Método gravimétrico
Las existencias de carbono de las turberas y las tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano. Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian paramo.) (Hribljan et al., 2016)		Dividiendo la masa de suelo secada al horno por el volumen de muestra original
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	Masa de agua / masa seca de turba.	A partir de la masa seca de la turba y el volumen del núcleo.
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under Nothofagus spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	Gravimétrico /Volumétrico	Las muestras secaron a una temperatura de 105 °C
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)		Muestras secadas por 24 horas a 105°C
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	Termo gravimétricamente (NTC ISO / IEC 17025: 2005)	Método del cilindro
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)		Método del cilindro
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo volcánico: estudio de a case en el norte de ecuador. (The influence eof bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)		Se determinó pesando muestras secadas al horno (105 ° C, 44) horas.

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO	
	HUMEDAD	DENSIDAD APARENTE
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)	Sensor de reflectometría (Campbell Scientific, Inc.) con una resolución del 1% y una precisión de $\pm 3,0\%$.	
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji. (Azocar & Monasterio, 1980)	Gravimétrico	
Estratificación de tefra de suelos de cenizas volcánicas en el norte de Ecuador. (Tephra stratification of volcanic ash soils in Northern Ecuador) (Femke H. Tonnejck et al., 2008)		Pesando muestras de anillo secadas al horno (105 ° C, 44 horas muestras de minerales y 70 ° C, 48 horas muestras orgánicas)
Efectos del pastoreo excesivo sobre la cubierta vegetal y las propiedades del suelo de cenizas volcánicas en el Páramo de Llangahua y La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). (Podwojewski et al., 2002)		El método del cilindro (5 réplicas)
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)		Teniendo en cuenta su volumen, según el diámetro del muestreador y la altura del incremento (i.e. 6.5 cm y 2 cm, respectivamente).
Ecohidrología de los páramos en Colombia: vulnerabilidad al cambio climático y uso de la tierra. (Ecohydrology of paramos in Colombia: Vulnerability to climate change and land use.) (Agudelo, 2016)		Se calculó como la relación de la masa de la muestra secada al horno a su volumen total.
Efectos a corto plazo de la gestión sobre la estructura del suelo en un suelo de ceniza volcánica endurecido a profundidad (Cangahua). (Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua).) (Podwojewski & Germain, 2005)		Método de la parafina en cinco repeticiones.

Tabla 19. Análisis de laboratorio: Humedad y densidad aparente.

ARTICULO	ANÁLISIS DE LABORATORIO	
	POROSIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. (Daza Torres et al., 2014)	Calculada a partir de la densidad real y aparente	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)		C.H. Saturada: Método de la cabeza constante.
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)		Método permeámetro de cabeza constante Método del orificio de la barrena invertida Método infiltrómetro de tensión
¿Para los servicios prestados? modelización de la hidrología y los medios de subsistencia en los pagos andinos para esquemas de servicios ambientales. (For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes.) (Quintero et al., 2009)		Triángulo de textura del suelo
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. (Quichimbo et al., 2012)		Método pozo invertido
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia (Camargo García et al., 2012)	Densidades	

Tabla 19. Análisis de laboratorio: Porosidad y conductividad hidráulica.

Apéndice H. Características del análisis de los datos en las investigaciones.

ARTICULO	ANÁLISIS DE DATOS SOFTWARE ESTADISTICO
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	Software InfoStat.SAS (2005)
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)	IBM SPSS Statistics 21 TM
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	Análisis de redundancia (RDA)
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	Software InfoStat.
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	Software libre R 2.10.0.
Estimación de reservas de carbono subterráneo en turberas del páramo ecuatoriano utilizando radar de penetración terrestre (GPR). (Estimating belowground carbon stocks in peatlands of the Ecuadorian páramo using ground penetrating radar (GPR).) (Comas et al., 2017)	ReflexW por Sandmeier Geophysical Research.
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	R 2.12.0 (R Development Core Team 2005), utilizando el paquete vegan (Oksanen et al., 2011) y el paquete plotrix (Lemon 2006).
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	Software estadístico R
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties	R studio versión 0.98 (RStudio, Boston, Massachusetts), usando paquetes agricolae, nls2, car, y lmPerm.

ARTICULO	ANALISIS DE DATOS SOFTWARE ESTADISTICO
across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	Entorno estadístico R (R Development Core Team 2012).
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	IBM-SPSS Statistics V19 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. (Marulanda & Villa, 2015)	SPSS Statistics 20.

Tabla 20. Software estadístico.

ARTICULO	PRUEBAS ESTADISTICAS UNIVARIANTE	
	Paramétrico	No paramétrico
Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia (Daza Torres et al., 2014)	Análisis de varianza	Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
Retención de carbono orgánico y agua del suelo después de la conversión de pastizales a plantaciones de pino en los andes ecuatorianos. (Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes) (Farley et al., 2004)	ANOVA	Prueba de comparación múltiple de Tukey
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)		Pruebas de kruskal-Wallis
Impacto de los cambios en el uso de la tierra sobre las propiedades hidrológicas de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador. (Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2002)	Prueba t de student	Pruebas post hoc de REGWF
Estimación de carbón orgánico del suelo (cos) a diferentes profundidades y uso del suelo en el Páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon	Estadísticas descriptivas para la dispersión central	Prueba de Bonferroni
		Pruebas de kruskal-Wallis

ARTICULO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS UNIVARIANTE	
	Paramétrico	No paramétrico
(SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)		
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	Prueba t de student	
Variabilidad regional de los suelos de cenizas volcánicas en el sur de Ecuador: la relación con el material original, el clima y el uso de la tierra. (Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use.) (W. Buytaert et al., 2007)	Regresión lineal. ANOVA ANOVA desequilibrado	
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)	Análisis de varianza	Prueba de comparación de Tukey
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	ANOVA	
Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago de los servicios ecosistémicos. (Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services) (Farley et al., 2013)	ANOVA	Pruebas post hoc de Tukey
Impacto del cultivo de papa y la ganadería en los parámetros fisicoquímicos y las actividades enzimáticas de los suelos del ecosistema del páramo alto andino neotropical. (Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of neotropical high Andean páramo ecosystem soils) (Avellaneda-Torres et al., 2018)	Prueba de Bartlett	Kruskal-Wallis y Wilcoxon Shapiro-Wilk
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	Prueba t de student	Prueba U de Mann-Whitney
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)		Prueba U no paramétrica de Mann-Whitney
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)		Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey

ARTICULO	PRUEBAS ESTADÍSTICAS UNIVARIANTE	
	Paramétrico	No paramétrico
	Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	ANOVA de dos vías. ANOVA de medidas repetidas.
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades físicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)	Análisis estadísticos estándar. Análisis de varianza de una vía	Pruebas de Tukey-Kramer
El efecto del drenaje sobre la acumulación de materia orgánica y las comunidades vegetales de turberas de gran altitud en los andes tropicales colombianos. (The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes.) (J. C. Benavides, 2015)	ANOVA de una vía	Prueba post hoc de diferencia significativa honesta (HSD) de Tukey
Caracterización de las propiedades del suelo de nothofagus spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of Nothofagus spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	ANOVA de una vía Medidas de dispersión, rangos de variación y comparaciones de medias	
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under Nothofagus spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	Análisis de varianza de One Way Análisis de varianza bidireccional	Método de comparación múltiple de Scheffé
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	Greenhouse Geisser	
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)		Kruskall-Wallis
Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del Páramo La Cortadera, Boyacá. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	ANOVA	
Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña (Marulanda & Villa, 2015)		Prueba ShapiroWilk Kruskal-Wallis U de Mann Whitney

ARTICULO	PRUEBAS ESTADISTICAS UNIVARIANTE	
	Paramétrico	No paramétrico
Ecohidrología de la región andes páramo. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)		Tukey
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	ANOVA	Tukey

Tabla 21. Pruebas estadísticas univariantes.

ARTICULO	PRUEBAS ESTADISTICAS MULTIVARIANTE	
	ANÁLISIS DE CORRELACIONES	
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	MANOVA	
Estimación de carbón orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades y uso del suelo en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca- Colombia. (Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca – Colombia.) (Montes-Pulido et al., 2017)		Coefficiente de correlación de Spearman
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)		Análisis de correlación
Impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico de suelos en el páramo de Anaime, Tolima, Colombia. (Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia) (Andrade Castañeda et al., 2014)		Análisis de correlación
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	Análisis de componentes principales (PCA) MANOVA	
Hacia la comprensión de las reservas de carbono y la estabilización en los suelos de cenizas volcánicas en los ecosistemas andinos naturales del norte de Ecuador. (Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean		Las correlaciones de Spearman (bivariadas): procedimiento SPSS Correlate

ARTICULO	PRUEBAS ESTADISTICAS	
	MULTIVARIANTE	ANALISIS DE CORRELACIONES
ecosystems of northern Ecuador) (F.H. Tonneijck et al., 2010)		
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	Método de ordenación de escalamiento multidimensional (MDS) Análisis de varianza permutacional multivariado (PERMANOVA)	Coefficientes de correlación de Pearson
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA)	
La variación de las tasas de infiltración y las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de una cubierta terrestre y el gradiente de uso de la tierra en un páramo del suroeste de Colombia. (The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a paramo of southwestern Colombia) (I. F. Benavides et al., 2018)		Función autocorrelación (ACF), funciones de autocorrelación parcial (PACF)
Caracterización de las propiedades del suelo de nothofagus spp. bosque con y sin escarificación en la región andina del sur de Chile. (Characterization of soil properties of Nothofagus spp. Forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile.) (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)		Análisis de correlación (coeficiente de correlación de Pearson)
Efecto de la escarificación en el cambio de suelo y establecimiento y regeneración artificial de bosque bajo nothofagus spp. en el sur de Chile. (Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under Nothofagus spp. In Southern Chile.) (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)		Análisis de correlación (coeficiente de Pearson)
Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador (Quichimbo et al., 2012)	Análisis de Componentes Principales normalizado, ACP Análisis Discriminante, AD	
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil	RMANOVA	Pearson

ARTICULO	PRUEBAS ESTADISTICAS	
	MULTIVARIANTE	ANALISIS DE CORRELACIONES
management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)		
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)		Coeficiente de Spearman.
La influencia de la bioturbación en la distribución vertical de los suelos de la tierra del suelo en suelo volcánico: estudio de caso en el norte de Ecuador. (The influence of bioturbation on the vertical distribution of soil organic matter in volcanic ash soils: a case study in northern Ecuador.) (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)		Correlaciones de Pearson y Spearman
Descripción y clasificación de los andosoles no alofánicos en el pasto de las alpacas ecolatorias del sur (páramo). (Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo).) (Wouter Buytaert et al., 2006)	MANOVA	
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de <i>Pinus patula</i> y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, <i>Pinus patula</i> plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	PCA	

Tabla 22. Pruebas estadísticas multivariantes y análisis de correlaciones.

Apéndice I. Tiempo empleado para el muestreo en campo y toma de muestras reportado por las investigaciones.

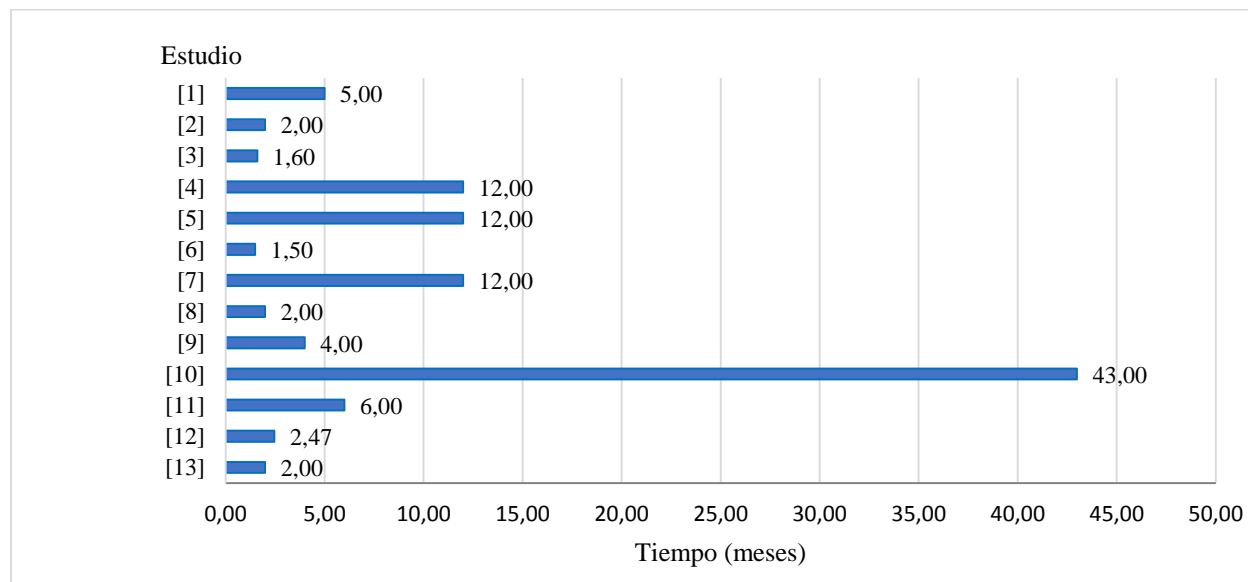
ARTICULO	TIEMPO DE MUESTREO: INTERVALO DE TIEMPO
Impactos humanos sobre los sistemas fluviales de cabecera en los Andes Septentrionales y Centrales. (Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes) (Harden, 2006)	Junio-Julio del 2004
Efectos del uso de la tierra en el flujo de co2 del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO2 flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	12 enero-27 marzo de 2014
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	Diciembre 1996-mayo de 1997
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	Marzo de 2003 y octubre de 2005
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	septiembre a diciembre de 2001
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	Noviembre y diciembre de 2012
Las alteraciones simuladas de pequeña escala aumentan las tasas de descomposición y facilitan la invasión de especies invasivas en una turbera andina tropical de gran altitud. (Simulated small scale disturbances increase decomposition rates and facilitates invasive species encroachment in a high elevation tropical Andean peatland) (Urbina & Benavides, 2015)	El experimento comenzó en abril de 2009, seguido por la reaplicación de los tratamientos en febrero de 2010 y una lectura final en junio de 2011.
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	12 meses
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	2 semanas en 2006,2008 y 2009

ARTICULO	TIEMPO DE MUESTREO: INTERVALO DE TIEMPO
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.) (Roa-García et al., 2011)	Desde junio de 2006 hasta junio de 2007
Estudio de la variabilidad meso y micro climática en el Páramo de Mucubaji (Azocar & Monasterio, 1980)	Enero de 1972 a enero de 1973
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos (Schnetter et al., 1976)	1 de febrero-19 de marzo -1971
Ecología de la región andes páramo. (Ecology of the Andes Páramo Region.) (Verónica Minaya, 2016)	El muestreo se realizó durante noviembre y diciembre de 2012
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	El trabajo de campo se realizó entre enero y mayo de 1998.

Tabla 23. Tiempo de muestreo.

Estudio	Tiempo (meses)
Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes (Harden, 2006)	2.00
Efectos del uso de la tierra en el flujo de CO ₂ del suelo en el Páramo de Guerrero, Colombia. (Effects of land use on soil CO ₂ flux in the Paramo de Guerrero, Colombia) (Peña-Quemba et al., 2016)	2.47
Impacto de las plantaciones de pino en los suelos y la vegetación en la altiplanicie ecuatoriana. (Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes) (Hofstede et al., 2002)	6.00
Factores que controlan los cambios de composición en un páramo andino del norte (La Rusia, Colombia). (Factors controlling compositional changes in a northern Andean paramo (la Rusia, Colombia).) (Valencia et al., 2013)	43.00
El efecto de los cambios en el uso de la tierra sobre el comportamiento hidrológico de los andosoles históricos en el sur de Ecuador. (The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador.) (W. Buytaert et al., 2005)	4.00
Análisis altitudinal de las reservas de carbono en el Páramo Antisana, andes ecuatorianos. (Altitudinal analysis of carbon stocks in the antisana páramo, Ecuadorian Andes.) (V. Minaya et al., 2016)	2.00
Efectos de las prácticas de manejo de suelos campesinos e indígenas en propiedades biogeoquímicas y servicios de almacenamiento de carbono de los suelos andinos de Colombia. (Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia.) (Ordoñez et al., 2015)	12.00

Estudio	Tiempo (meses)
Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de los Nevados, Colombia. (Camargo García et al., 2012)	1.50
El papel del uso de la tierra y los suelos en la regulación del flujo de agua en pequeñas cuencas de captación de los andes. (The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes.)(Roa-García et al., 2011)	12.00
Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo de Mucubaji (Azocar & Monasterio, 1980)	12.00
Estudios ecológicos en el Páramo de Cruz Verde, Colombia i. ubicación geográfica, factores climáticos y edáficos (Schnetter et al., 1976)	1.60
Ecohidrología de la región páramo andes. (Ecohydrology of the Andes Páramo Region). (Verónica Minaya, 2016)	2.00
Comparación de las propiedades del suelo de los bosques nativos, las plantaciones de Pinus patula y los pastizales adyacentes en las tierras altas andinas del sur de Ecuador: ¿historial de uso de la tierra o efectos recientes de la vegetación? (Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects.) (Chacón et al., 2009)	5.00



Apéndice J. Valores de carbono orgánico, materia orgánica y humedad para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Carbono orgánico [%]	Materia orgánica [%]	Humedad [%]
Páramo de Sumapaz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Vegetación nativa	18.00	--	33.10
Páramo de Guerrero, CO. (Peña-Quemba et al., 2016)	3325-3640	Vegetación nativa	26.25	--	57.00
Cuenca de Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2002)	3000-3300	Vegetación nativa	--	--	70.00
Páramo de Sumapaz, CO. (Montes-Pulido et al., 2017)	--	Vegetación nativa	27.09	--	--
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000-4000	Vegetación nativa	--	20.80	22.90
Cuenca Rio Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2007)	>3300	Vegetación nativa	31.70	--	--
Páramos: Cuenca, Azogues y El Ángel, EC. (Poulenard et al., 2003)	3250-3700	Vegetación nativa	20.65	--	--
Parque Nacional Nevados, CO. (Avellaneda-Torres et al., 2018)	3432-3769	Vegetación nativa	8.00	--	79.60
Parque Nacional Cayambe-Coca & Antisana Ecological Preserve, EC. (Comas et al., 2017)	3950-4250	Vegetación nativa	22.85	--	--
Estación Biológica Guandera, EC. (F.H. Tonneijck et al., 2010)	3330-3990	Vegetación nativa	15.00	--	--
Municipio de Belmira, CO. (Urbina & Benavides, 2015)	3200	Vegetación nativa	--	--	31.86
Páramo de Paja Blanca, CO. (I. F. Benavides et al., 2018)	3000	Vegetación nativa	--	20.00	--

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Carbono orgánico [%]	Materia orgánica [%]	Humedad [%]
Parque Nacional Cayambe-Coca & Reserva Ecológica Antisana, EC. (Hribljan et al., 2016)	3919-4880	Vegetación nativa	23.10	--	--
Parque Nacional Iguaque, CO. (J. C. Benavides, 2015)	2500-3800	Vegetación nativa	--	0.78	--
Piedras Negras, CL. (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	970	Vegetación nativa	15.50	26.90	--
Piedras Negras, CL. (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	970	Vegetación nativa	21.20	36.70	129.00
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Vegetación nativa	--	48.38	87.00
Parque Nacional de los Nevados, CO. (Camargo García et al., 2012)	--	Vegetación nativa	3.90	6.71	--
Estación Biológica Guandera, EC. (G. J. Nierop et al., 2007)	3650	Vegetación nativa	--	42.20	--
Páramo Macujabí, VE. (Azocar & Monasterio, 1980)	3500-3750	Vegetación nativa	--	--	15.30
Páramo de cruz verde, CO. (Schnetter et al., 1976)		Vegetación nativa	23.00	--	--
Páramo de la Cortadera, CO. (Cuervo-Barahona & Cely-Reyes, n.d.)	3300-3815	Vegetación nativa	6.76	--	--
Huagrauma y Ninggar, EC. (Wouter Buytaert et al., 2006)	3350-3900	Vegetación nativa	--	37.10	--
Provincia de Tungurahua, EC. (Podwojewski et al., 2002)	3800-4200	Vegetación nativa	0.86	--	48.89

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Carbono orgánico [%]	Materia orgánica [%]	Humedad [%]
Páramo de Santa Inés, CO. (Marulanda & Villa, 2015)	3200	Vegetación nativa	--	65.30	--
Microcuenca del río Guandoque, Tausa, CO. (Gutiérrez & Gutiérrez, 2015)	--	Vegetación nativa	0.44	--	--
Tierras altas del Ecuador, EC. (Chacón et al., 2009)	3032-3035	Vegetación nativa	--	40.70	--

Apéndice K. Valores de retención a presiones de 33 kPa y 1500 kPa para cobertura vegetación nativa a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Retención	
			33 kPa [%]	1500 kPa [%]
Páramos de Quimacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Vegetación nativa	86.00	15.00
Páramo Macujabí, VE. (Azocar & Monasterio, 1980)	3500-3750	Vegetación nativa	44.45	29.15
Huagrauma y Ninggar, EC. (Wouter Buytaert et al., 2006)	3350-3900	Vegetación nativa	--	112.50
Páramo Berlina, Chingaza y Romerales, CO. (Agudelo, 2016)	3060-3770	Vegetación nativa	59.00	30.00
Páramo de Sumapáz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Vegetación nativa	81.45	48.35
Pichincha & Provincia de Carchi, EC. (Poulenard et al., 2001)	3600-4000	Vegetación nativa	--	60.00
Cuenca de Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2002)	3000-3300	Vegetación nativa	--	40.00
Páramo de Sumapaz, CO. (Montes-Pulido et al., 2017)	--	Vegetación nativa	68.76	53.38
Cuenca Rio Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2007)	>3300	Vegetación nativa	--	168.00
Páramos: Cuenca, Azogues y El Ángel, EC. (Poulenard et al., 2003)	3250-3700	Vegetación nativa	--	48.50

Apéndice L. Valores de humedad para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Humedad [%]
Páramo de Sumapaz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Vegetación nativa	33.10
Páramo de Guerrero, CO. (Peña-Quemba et al., 2016)	3325-3640	Vegetación nativa	57.00
Cuenca de Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2002)	3000-3300	Vegetación nativa	70.00
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000-4000	Vegetación nativa	22.90
Parque Nacional Nevados, CO. (Avellaneda-Torres et al., 2018)	3432-3769	Vegetación nativa	79.60
Municipio de Belmira, CO. (Urbina & Benavides, 2015)	3200	Vegetación nativa	31.86
Piedras Negras, CL. (Reyes, Thiers, Gerding, et al., 2014)	970	Vegetación nativa	129.00
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Vegetación nativa	87.00
Páramo Macujabí, VE. (Azocar & Monasterio, 1980)	3500-3750	Vegetación nativa	15.30
Provincia de Tungurahua, EC. (Podwojewski et al., 2002)	3800-4200	Vegetación nativa	48.89

Apéndice M. Valores de humedad para cobertura de pastizales y pradera a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Humedad [%]
Provincia de Cotopaxi, EC. (Farley et al., 2004)	3400-3500	Pastizales y pradera	38.00
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000-4300	Pastizales y pradera	53.00
Páramo de Guerrero, CO. (Peña-Quemba et al., 2016)	3325-3640	Pastizales y pradera	27.31
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000-4000	Pastizales y pradera	30.00
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Pastizales y pradera	77.00

Apéndice N. Valores de humedad para cobertura de forestación a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Humedad [%]
Provincia de Cotopaxi, EC. (Farley et al., 2004)	3400-3500	Forestación y reforestación	15.00
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000-4300	Forestación y reforestación	31.00
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000-4000	Forestación y reforestación	18.20
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Forestación y reforestación	72.00

Apéndice O. Valores de humedad para cobertura de cultivos a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Humedad [%]
Páramo de Sumapaz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Cultivos	26.15
Páramo de Guerrero, CO. (Peña-Quemba et al., 2016)	3325-3640	Cultivos	29.00
Parque Nacional Nevados, CO. (Avellaneda-Torres et al., 2018)	3432-3769	Cultivos	48.10
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Cultivos	80.00

Apéndice P. Valores de densidad aparente para cobertura de vegetación nativa a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm³]
Páramo de Sumapaz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Vegetación nativa	0.70
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000-4300	Vegetación nativa	0.27
Páramo de Sumapaz, CO. (Montes-Pulido et al., 2017)	--	Vegetación nativa	0.51
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000-4000	Vegetación nativa	0.69
Cuenca Rio Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2007)	>3300	Vegetación nativa	0.23
Páramos: Cuenca, Azogues y El Ángel, EC. (Poulenard et al., 2003)	3250-3700	Vegetación nativa	0.46
Páramo de Anaime, CO. (Andrade Castañeda et al., 2014)	--	Vegetación nativa	0.46
Páramo Berlina, Chingaza y Romerales, CO. (Agudelo, 2016)	3060-3770	Vegetación nativa	0.37
Parque Nacional Nevados, CO. (Avellaneda-Torres et al., 2018)	3432-3769	Vegetación nativa	0.70
Parque Nacional Cayambe-Coca & Antisana Ecological Preserve, EC. (Comas et al., 2017)	3950-4250	Vegetación nativa	1.21
Estación Biológica Guandera, EC. (F.H. Tonnejck et al., 2010)	3330-3990	Vegetación nativa	0.41
Municipio de Belmira, CO. (Urbina & Benavides, 2015)	3200	Vegetación nativa	0.03
Páramo de Paja Blanca, CO. (I. F. Benavides et al., 2018)	3000	Vegetación nativa	0.50
Parque Nacional Cayambe-Coca & Reserva Ecológica Antisana, EC. (Hribljan et al., 2016)	3919-4880	Vegetación nativa	0.21
Parque Nacional Iguaque, CO. (J. C. Benavides, 2015)	2500-3800	Vegetación nativa	0.03
Parque Nacional Sajama, BO. (Cooper et al., 2015)	--	Vegetación nativa	0.08
Piedras Negras, CL. (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	970	Vegetación nativa	0.33

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm ³]
Páramos de Quimsacocha ,EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Vegetación nativa	0.11
Parque Nacional de los Nevados, CO. (Camargo García et al., 2012)	--	Vegetación nativa	0.37
Estación Biológica Guandera.EC. (F H Tonneijck & Jongmans, 2008)	3650	Vegetación nativa	0.50
Huagrauma y Ninggar, EC. (Wouter Buytaert et al., 2006)	3350-3900	Vegetación nativa	0.74
Provincia de Tungurahua, EC. (Podwojewski et al., 2002)	3800-4200	Vegetación nativa	0.95

Apéndice Q. Valores de densidad aparente para cobertura de pastizales y pradera a nivel superficial

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm³]
Provincia de Cotopaxi, EC. (Farley et al., 2004)	3400- 3500	Pastizales y pradera	1.17
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000- 4300	Pastizales y pradera	0.64
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000- 4000	Pastizales y pradera	1.03
Páramo de Anaime, CO. (Andrade Castañeda et al., 2014)	--	Pastizales y pradera	0.50
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400- 3900	Pastizales y pradera	0.42
Filandia, CO. (Roa-García et al., 2011)	2000- 2200	Pastizales y pradera	0.70
Estación Biológica Guandera, EC. (Femke H. Tonnejck et al., 2008)	3650	Pastizales y pradera	0.41

Apéndice R. Valores de densidad aparente para cobertura de forestación a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm³]
Provincia de Cotopaxi, EC. (Farley et al., 2004)	3400- 3500	Forestación y reforestación	0.70
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000- 4300	Forestación y reforestación	0.55
Andes Ecuatorianos, EC. (Hofstede et al., 2002)	3000- 4000	Forestación y reforestación	0.77
Estación Biológica Guandera, EC. (F.H. Tonnejck et al., 2010)	3330- 3990	Forestación y reforestación	0.54
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400- 3900	Forestación y reforestación	0.51
Filandia, CO. (Roa-García et al., 2011)	2000- 2200	Forestación y reforestación	0.65
Estación Biológica Guandera, EC. (Femke H. Tonnejck et al., 2008)	3650	Forestación y reforestación	0.53

Apéndice S. Valores de densidad aparente para cobertura de preparación del suelo a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm³]
Parque Nacional Cajas, EC. (Harden, 2006)	3000- 4300	Preparación del suelo	0.35
Municipio de Belmira, CO. (Urbina & Benavides, 2015)	3200	Preparación del suelo	0.03
Piedras Negras, CL. (Reyes, Thiers, & Gerding, 2014)	970	Preparación del suelo	0.93
Páramos de Quimsacocha, EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400- 3900	Preparación del suelo	0.35
Parque Nacional de los Nevados, CO. (Camargo García et al., 2012)	--	Preparación del suelo	0.38

Apéndice T. Valores de densidad aparente para cobertura de cultivos a nivel superficial.

Lugar de estudio	Altura (m.s.n.m)	Cobertura	Densidad aparente [g/cm³]
Páramo de Sumapáz, CO. (Daza Torres et al., 2014)	3550	Cultivos	0.90
Páramo de Sumapáz, CO. (Montes-Pulido et al., 2017)	--	Cultivos	0.26
Cuenca Rio Paute, EC. (W. Buytaert et al., 2007)	>3300	Cultivos	0.36
Parque Nacional Nevados,CO. (Avellaneda- Torres et al., 2018)	3432-3769	Cultivos	0.70
Páramos de Quimsacocha,EC. (Quichimbo et al., 2012)	3400-3900	Cultivos	0.44