



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero**

**Melissa Lis Gutiérrez**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

# **Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero**

**Melissa Lis Gutiérrez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

Directora:

Yolanda Rubiano Sanabria, Agróloga Ph.D.

Línea de Investigación:

Suelos y Aguas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

## *Dedicatoria y lema*

*Dedico este documento a mis padres Lucía y José y mi hermana Paola, por su apoyo incondicional y por impulsarme a seguir adelante.*

*A la profe Yolanda quien me acogió y me transmitió su amor por los suelos y por la investigación.*

## **Agradecimientos**

A la comunidad del Páramo de Guerrero, Vereda San Antonio quienes nos acogieron y colaboraron para hacer realidad esta investigación.

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá por la formación académica y personal.

A Colciencias por la financiación total de este trabajo, en el marco del Proyecto Diáspora “Calidad y Sostenibilidad del agua y los suelos en Páramos Andinos: Agua potable para millones de habitantes en Latinoamérica”

A mis maestros, en particular a la Dra. Yolanda Rubiano Sanabria por su guía, paciencia y tiempo. Al Ingeniero Jeiner Yobany Buitrago por su asesoría, aportes y enseñanzas.

A los profesores Juan Carlos Loaiza Usuga, Enrique Darghan y Sergio Gaviria Melo por su orientación y enseñanzas.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), por el suministro de información, acceso al laboratorio y ayuda en el procesamiento de muestras para este trabajo, a través del convenio con la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Al Agrólogo Jorge Alberto Sánchez, a los señores Antonio y Marco y a los funcionarios del laboratorio Nacional de Suelos - IGAC quienes me apoyaron e instruyeron con disposición y alegría.

A mis compañeros Camilo Peña, Cristina Díaz, Mónica Gómez, Sebastián Gutierrez y Ruby Stella Hernández compañeros de viaje por sus aportes, ideas y colaboración durante estos años.

Y desde luego a Jonathan Jiménez por su constancia, dedicación, soporte emocional y afectivo, quien me alentó y me hizo sonreír en todo momento.

## Resumen

Los páramos son ecosistemas neotropicales, ubicados entre los 3.000 y los 4.000 m.s.n.m., con alto potencial de retención de agua y almacenamiento de carbono orgánico (CO), cumplen funciones asociadas a la regulación de los ciclos de carbono y agua. Son susceptibles a fenómenos de degradación por compactación, erosión, emisiones de dióxido de carbono, asociados al incremento de la actividad antrópica reflejada en el cambio del uso de la tierra de bosque a cultivo y a pastos. La información edáfica de los páramos es escasa lo cual dificulta la implementación de estrategias de manejo y conservación adecuadas a estos ecosistemas. Con el objeto de estimar el contenido de CO en suelos del páramo de Guerrero, como indicador de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas, se caracterizó una toposecuencia entre 3.300 - 3.650 m de altitud, en la vereda San Antonio del municipio de Tausa, departamento de Cundinamarca, en la cordillera oriental colombiana. Los suelos que integran esta catena corresponden a nueve andisoles del suborden Udands y un inceptisol del suborden Udept, desarrollados sobre depósitos morrénicos, fluvio-glaciáricos con material parental dominante de cenizas volcánicas. Para evaluar la calidad de los suelos se estimó el stock de CO y se calculó la relación estratigráfica de carbono como indicador de la misma, se encontró una relación directa entre la posición al interior de la catena y el contenido de CO con valores que fluctúan entre 165 - 624 t CO $\times$ ha<sup>-1</sup>. Se determinó el riesgo a la erosión que evidencian procesos de pérdidas y/o ganancias de CO asociados al cambio de uso de la tierra y las cubiertas vegetales, en áreas con pendientes >25%. Se encontró que la presencia de arcillas amorfas tipo halloysita e imogolita favorecen la acumulación de materia orgánica y la formación de complejos órgano-minerales que definen la dinámica del Carbono Orgánico del Suelo (COS) y se constituyen en reservorios del mismo. El stocks de carbono en los suelos de la catena oscila entre 10 y 60%, característica directamente influenciada por la topografía, el clima, la pedogénesis de estos andisoles y por la dinámica de cambio e intensificación del uso que generan la degradación de su calidad.

**Palabras clave:** stock de carbono, calidad del suelo, catena, erosión, andisoles

## Abstract

The moors are neotropical ecosystems located between 3,000 and 4,000 meters, with high potential for water retention and storage of organic carbon (CO), perform functions associated with the regulation of carbon and water cycles. They are susceptible to degradation phenomena by compaction, erosion, carbon dioxide emission associated with increased human activity reflected in the change of land use from forest to crop and pasture finally. The moorland soil information is scarce, hampering the implementation of management and conservation strategies appropriate to these ecosystems. 3650 m to the village of San Antonio, Tausa municipality, Department of Cundinamarca, Colombian Eastern Cordillera - in order to understand the dynamics of CO in soils Guerrero moor a toposequence taking into account the different coverage between 3300 was characterized. The soils that make up this catena correspond to nine andisols Udands and suborder suborder Inceptisol Udept developed on moraine, whose predominant parent material fluvio-glaciáricos are volcanic ash. In order to evaluate the quality of these soils the estimated stock of CO and the stratigraphic carbon ratio as an indicator thereof is calculated, a direct relationship between the position within the catena and the CO content values found ranging from 165-624 t CO \* ha<sup>-1</sup>. From risk assessment to erosion of the watershed, processes of loss and / or gain of CO associated with changing land use and ground cover, together with slopes > 25% are evident. The presence of amorphous halloysite clays and imogolite favor the accumulation of organic matter, formation of organo-mineral complexes favoring COS dynamics in these soils, not only as reservoirs for CO but also in the formation of these andisols. The difference between the stock of carbon between soil catena of between 10 and 60%, characteristic directly influenced by topography, climate, these andisols pedogenesis and the dynamics of change of use associated with the expansion, causing deterioration in these soils and loss of quality thereof.

**Key words:** carbon stock; soil quality; catena; erosion; andosols.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	X
Introducción.....	1
1. Capítulo 1. Fundamentos teóricos, antecedentes y características de la zona de estudio.....	4
1.1 Calidad del suelo.....	4
1.2 El carbono orgánico del suelo.....	4
1.2.1 Metodologías para estimar el COS.....	6
1.3 CO en suelos de páramo.....	7
1.3.1 Estudios de CO en suelos de páramo.....	8
1.4 Área de estudio.....	9
1.4.1 Localización.....	10
1.4.2 Geología.....	11
1.4.3 Geomorfología.....	13
1.4.4 Clima.....	13
1.4.5 Cobertura y uso.....	15
1.5 Referencias.....	17
2. Capítulo 2. Caracterización físico-química de una toposecuencia en el páramo de Guerrero.....	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Materiales y métodos.....	23
2.2.1 Área de estudio.....	23
2.2.2 Selección de la toposecuencia y muestreo.....	23
2.3 Resultados y discusión.....	25
2.4 Conclusiones.....	31
2.5 Referencias.....	31
3. Capítulo 3. Stock de carbono orgánico del suelo de una toposecuencia del páramo de guerrero.....	34
3.1 Introducción.....	34
3.2 Materiales y Métodos.....	38
3.2.1 Localización del área de estudio.....	38
3.2.2 Stock de Carbono Orgánico del Suelo.....	38
3.2.3 Relación de estratificación del COS.....	39
3.2.4 COS asociado a la fracción arcilla.....	39
3.2.5 Erosión.....	40
3.3 Resultados y discusión.....	41

---

3.3.1	Stock de COS en la toposecuencia .....	41
3.3.2	Estratificación de carbono orgánico .....	43
3.3.3	COS asociado a la fracción arcilla .....	44
3.3.4	Pérdida y ganancia de COS basado en el riesgo a erosión de la microcuena 46	
3.4	Conclusiones .....	48
3.5	Referencias .....	49
4.	Capítulo 4. Tendencias de cambio de uso del páramo de Guerrero y el almacenaje de carbono orgánico del suelo .....	55
4.1	Introducción .....	55
4.1.1	Transformación del páramo de Guerrero .....	56
4.2	Materiales y métodos .....	57
4.2.1	Localización del área de estudio .....	57
4.2.2	Tendencias de cambio de uso y escenarios futuros .....	57
4.3	Resultados y discusión .....	59
4.4	Conclusiones .....	64
4.5	Referencias .....	65
A.	Anexo A: Descripción de perfiles .....	67
B.	Anexo B: Stock de Carbono del suelo .....	103



## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1-1. Localización de la Microcuenca del río Guandoque .....	10
Figura 1-2. Geología del área de estudio.....	12
Figura 1-3. Mapa de geomorfología de la microcuenca del río Guandoque derivado del MDE de la zona de estudio.....	14
Figura 1-4. Precipitación promedio multianual en la microcuenca del río Guandoque.....	15
Figura 1-5. Mapa de clasificación de cobertura de la microcuenca del río Guandoque año 2012. ....	16
Figura 2-1. MDE de la microcuenca del río Guandoque, municipio de Tausa, Cundinamarca .....	24
Figura 2-2. Perfil topográfico de la toposecuencia en la microcuenca del río Guandoque .....	26
Figura 2-3. Distribución del carbono orgánico en cada horizonte de la toposecuencia....	29
Figura 2-4. Análisis de componentes principales 3D.....	30
Figura 3-1. Proceso de erosión y dinámica del carbono orgánico del suelo.....	37
Figura 3-2. Stock de carbono ( $t \cdot ha^{-1}$ ) en la toposecuencia de la microcuenca del río Guandoque, Tausa, Cundinamarca .....	41
Figura 3-3. Distribución vertical del COS .....	43
Figura 3-4. Relación de estratificación de COT .....	44
Figura 3-5. Distribución vertical del COS ( $t \cdot ha^{-1}$ ) hasta un metro de profundidad, a lo largo de la toposecuencia .....	45
Figura 3-6 Mapa de clasificación de riesgo a erosión de la microcuenca del río Guandoque a 2013 .....	47
Figura 4-1. Mapa de cobertura y uso del páramo de Guerrero en 2007 e identificación de la microcuenca del río Guandoque .....	58
Figura 4-2. Esquema metodológico para predicción de escenarios de cambio .....	59
Figura 4-3. Escenario 0 con la clasificación de la cobertura a 2012 de la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa-Cundinamarca.....	60
Figura 4-4. Escenario 1, cambio en la cobertura vegetal a 2020 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa-Cundinamarca.....	61
Figura 4-5. Escenario 2: cambio en la cobertura vegetal por acción antrópica a 2020 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa Cundinamarca .....	62
Figura 4-6. Escenario 3: cambio en la cobertura vegetal proyectado a 2030 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa Cundinamarca .....	63

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1.</b> Métodos para estimación del Carbono orgánico del suelo.....	6
Tabla 1-2. Carbono orgánico del suelo por Orden taxonómico.....	8
<b>Tabla 1-3.</b> Distribución de unidades de cobertura de la tierra en la microcuenca del río Guandoque.....	17
Tabla 2-1. Características de los diferentes perfiles descritos al interior de la toposecuencia.....	25
Tabla 3-1. Clasificación del riesgo a erosión de al microcuenca del rio Guandoque .....	48
Tabla A-1. Análisis químico perfil I.....	68
Tabla A-2. Análisis físicos perfil I.....	68
Tabla A-3. Análisis químico perfil II.....	71
Tabla A-4. Análisis físicos perfil II.....	71
Tabla A-5. Análisis químico perfil III.....	75
Tabla A-6. Análisis físicos perfil III.....	75
Tabla A-7. Análisis químico perfil IV.....	79
Tabla A-8. Análisis físicos perfil IV.....	80
Tabla A-9. Análisis químico perfil V.....	82
Tabla A-10. Análisis físicos perfil V.....	82
Tabla A-11. Análisis químico perfil VI.....	85
Tabla A-12. Análisis físicos perfil VI.....	85
Tabla A-13. Análisis químicos perfil VII.....	88
Tabla A-14. Análisis físicos perfil VII.....	88
Tabla A-15. Análisis químico perfil VIII.....	91
Tabla A-16. Análisis físicos perfil VIII.....	91
Tabla A-17. Análisis químico perfil IX.....	95
Tabla A-18. Análisis físicos perfil IX.....	95
Tabla A-19. Análisis químico perfil X.....	99
Tabla A-20. Análisis físicos perfil X.....	99

# Introducción

La palabra “páramo” hace referencia a los ecosistemas de alta montaña ubicados entre los 3000 y los 4800 m.s.n.m., principalmente sobre la cordillera de los Andes en Ecuador, Perú, Colombia, Venezuela y Costa Rica y en otras zonas neotropicales como África y Nueva Zelanda. A nivel mundial tienen una extensión de aproximadamente 3'397.800 ha de las cuales Colombia posee el 64%, con un total de 36 páramos que abarcan 29.000 km<sup>2</sup>, distribuidos en las cordilleras Oriental, Central, Occidental y la Sierra Nevada de Santa Marta, equivalentes al 1,6% del territorio nacional, de los cuales el 89% corresponden a páramos húmedos.

Los ecosistemas paramunos son reconocidos por su gran biodiversidad, su alta capacidad de almacenar carbono (C), su papel regulador en el ciclo hidrológico y biogeoquímico de C y N, las cuales están relacionadas con la génesis y las propiedades edáficas (alto contenido de materia orgánica, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, etc) y climáticas (bajas temperaturas y alta humedad).

El incremento de la población rural en más de la mitad de los páramos del mundo, hace evidente la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante los cambios inducidos por las actividades humanas y el cambio climático, en regiones montañosas de pendientes pronunciadas, donde las prácticas agrícolas tienen efectos perjudiciales sobre las propiedades del suelo al incrementar los fenómenos de erosión, compactación, disminución de la infiltración y de la escorrentía y alterar las funciones hidrológica y de reserva de carbono orgánico del suelo (COS), que conducen a la degradación de la calidad del suelo y de su capacidad productiva.

A diferencia de los ecosistemas de bosques y selva tropicales, los páramos almacenan la mayor parte del carbono orgánico (CO) en el suelo y no en la vegetación. Las bajas temperaturas en los páramos, favorecen las bajas tasas descomposición y reciclaje de nutrientes, la formación de complejos órgano-minerales estables y la disminución de la tasa de mineralización de la materia orgánica, permitiendo que el CO pase a ser parte del humus, almacenando hasta 1700 t de C ha<sup>-1</sup> mientras que los suelos en las selvas tropicales solo alcanzan 50 t de C ha<sup>-1</sup>.

Los suelos de páramo del orden andisol, influenciados por la presencia de cenizas volcánicas deben su alto contenido de CO a diferentes procesos pedogenéticos, a partir de los cuales los minerales se transformaron cambiando la forma y el tamaño de las partículas además de su porosidad. Estos procesos evolutivos fueron influenciados por

condiciones climáticas particulares (alta precipitación, baja temperatura y alta humedad) y por el tiempo; las primeras determinaban la presencia de fluidos disponibles para las reacciones químicas, la tasa a la cual estas reacciones ocurren, la migración de compuestos y la erosión, entre otros procesos; el tiempo por su parte, gobierna la secuencia para la síntesis de minerales secundarios y la distribución de tamaños de partículas.

El COS tiene influencia directa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, siendo reconocido como uno de los principales indicadores de la calidad de suelo (Eyherabide *et al.*, 2014). El COS favorece la agregación, distribución del espacio poroso, condiciona directamente la humedad aprovechable, la retención de agua, el movimiento de agua y la difusión de gases en el suelo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad buffer y retención de fosfatos.

En Colombia, el crecimiento demográfico en el departamento de Cundinamarca ha aumentado la demanda de los bienes y servicios ecosistémicos que ofertan los páramos andinos, que para esta zona alcanzan las 386.000 ha. Con la ampliación de la frontera agrícola hacia estos ecosistemas, se evidencia el impacto directo por acción antrópica sobre el recurso hídrico, originando cambios significativos en la morfología y propiedades del suelo, los cuales afectan directamente su capacidad de almacenar C y por ende su calidad y capacidad productiva, esto se debe principalmente a que durante el establecimiento de los cultivos quedan zonas desnudas las cuales absorben la radiación solar, lo que favorece el secado irreversible del suelo y el aumento de su repelencia al agua, alterando hasta en más de un tercio su valor original de C y agua.

Son escasos los trabajos en que se relaciona el COS con el uso de la tierra, la posición topográfica, la textura y la pedogénesis de los suelos de páramo para estimar su capacidad como reservorios de COS. Con este trabajo se buscó responder a la pregunta de investigación: ¿El cambio en el uso de la tierra en el páramo de Guerrero ha conducido a la pérdida de carbono en el suelo y por consiguiente ha disminuido la calidad del mismo?.

Para ello se planteó como objetivo general, estimar el contenido de carbono orgánico del suelo como indicador de su calidad bajo diferentes coberturas en una toposecuencia del páramo de Guerrero y como objetivos específicos: a) Caracterizar los suelos y las coberturas de una toposecuencia entre 3300-3650 msnm del páramo de Guerrero, b) Modelar las pérdidas y/o ganancias de carbono orgánico en los suelos de la toposecuencia y c) generar escenarios predictivos de almacenamiento de carbono orgánico del suelo con base a las tendencias de cambio de uso de la tierra en el páramo de Guerrero.

El documento presenta en el primer capítulo los fundamentos teóricos relacionados con calidad del suelo, carbono orgánico y métodos de estimación. También incluye las características de la zona de estudio. Un segundo capítulo, aborda la caracterización físico, química y morfológica de los suelos asociados a los diferentes tipos de coberturas

---

para una catena alto andina entre 3.300 – 3.650 m en el páramo de Guerrero.

En el tercer capítulo se modelan las pérdidas y/o ganancias de carbono orgánico en los diferentes tipos de suelos asociados a la toposecuencia, teniendo en cuenta la relación suelo relieve para las posiciones geomorfológicas presentes. Bajo las diferentes combinaciones suelo - relieve - usos del suelo se estimó el stock de carbono hasta un metro de profundidad en intervalos de diez centímetros, considerando su distribución en la vertical a lo largo del perfil. A partir de las características morfológicas asociadas a cada perfil se evalúa la influencia de los factores formadores de suelo en la acumulación de carbono. Se estima la relación de estratificación de carbono como indicador de la calidad de los suelos, y se desarrolla un modelo cualitativo del riesgo a erosión de la zona como criterio para evaluar las pérdidas y/o ganancias de CO en el sistema.

El cuarto y último capítulo, propone tres escenarios futuros de almacenamiento de carbono orgánico en los suelos de la microcuenca del río Guandoque hacia los años 2020 y 2030. El punto de partida es un mapa de cobertura y uso de la tierra elaborado por en el marco de este proyecto en 2012, se consideran posibles cambios en la cobertura vegetal como respuesta a) la tendencia actual, b) al cambio del uso actual por barbecho continuo y c) como respuesta a las políticas de protección previstas en la ley para las zonas de páramo.

# **1. Capítulo 1. Fundamentos teóricos, antecedentes y características de la zona de estudio**

## **1.1 Calidad del suelo**

La calidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas, sostener la productividad biológica, mantener la calidad del agua y del aire, y apoyar la vida humana (Doran & Zeiss, 2000). Por lo tanto también puede considerarse como un indicador de las perturbaciones ambientales naturales e inducidas por el hombre y su estimación, contribuye a establecer la sustentabilidad del recurso suelo y de los diferentes sistemas de producción.

La capacidad de funcionamiento del suelo depende de factores climáticos y de manejo (Martinez, 2006). Los suelos con alta calidad pueden mantener una alta productividad y causar mínimos impactos ambientales, para estimar dichos impactos es necesario monitorear y estimar la calidad del suelo, la degradación o la restauración de los suelos a través del análisis de las propiedades que determinan las principales funciones del suelo, en particular las propiedades que respondan a los cambios en el manejo (Cruz *et al.*, 2004; de Paul Obade & Lal, 2013).

De acuerdo con Mogollón *et al* (2013), en los ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende en gran parte de la cantidad, calidad y dinámica de las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) que a su vez son directamente afectadas por la temperatura, la humedad, la textura del suelo y su estructura (Lal, 2001).

## **1.2 El carbono orgánico del suelo**

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante en el ciclo biogeoquímico del C, ocupa el 69,8% del CO de la biosfera (FAO, 2002), y más del 71% de las reservas terrestres (Parras *et al.*, 2015), su dinámica es controlada por los flujos de C verticales y laterales (Armas, 2009).

El suelo es el segundo reservorio de carbono (C) a nivel global, y el primero a nivel terrestre, almacena aproximadamente 1.500 Pg de C a un metro de profundidad, casi el

doble de la atmósfera (750 Pg de C) y de la vegetación (650 Pg de C) (FAO, 2002; Stockmann *et al.*, 2013; Tamocai *et al.*, 2009).

Los cambios en la cobertura vegetal y en el manejo del suelo alteran el sistema edáfico y ocasionan cambios en la dinámica de almacenamiento de C (Schrumpf *et al.*, 2011). Una reducción en el contenido de COS puede acentuar la degradación por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado y acidificación, y en general, provocar pérdidas en la biodiversidad y la productividad del suelo (Brady & Weil, 2007).

El COS favorece la agregación, distribución del espacio poroso, condiciona directamente la humedad aprovechable la retención de agua, el movimiento de agua y difusión de gases en el suelo (Martínez *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009), aumentando la capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad buffer, disponibilidad de fósforo y es una fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo (Ezeaku & Eze, 2014).

El clima, las propiedades del suelo y la topografía son considerados como los principales controles ambientales del COS, debido a que la precipitación, humedad y temperatura están directamente relacionadas con la actividad enzimática de los microorganismos que intervienen en la fijación y descomposición del COS; por ejemplo el pH del suelo regula la actividad microbiana, entre más alto sea tiene un efecto negativo sobre la población microbiana, probablemente a causa de la descomposición acelerada de la materia orgánica del suelo (MOS) (Wang *et al.*, 2012).

Los factores topográficos: elevación, pendiente y aspecto, que son determinantes de la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) y a su vez de la disponibilidad del COS por el control que ejercen sobre el balance de agua del suelo, la descomposición del material vegetal, la erosión del suelo y los procesos de depositación geológica (Lantz *et al.*, 2002).

La textura tiene un impacto directo en las entradas y salidas de MOS e indirecto sobre la productividad de la vegetación a través de la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo, gracias a la asociación coloidal de la MOS con las arcillas, que definen la tasa de descomposición del COS (Tan *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2012).

La cantidad de COS depende de las condiciones ambientales locales y está directamente influenciada por las prácticas de manejo del suelo, por ejemplo el uso intensivo del arado, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece su acumulación en formas orgánicas dentro del suelo (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

La actividad antrópica interviene directamente en la dinámica del COS a través de la cobertura vegetal, el uso de la tierra, los cambios en el uso y las prácticas de manejo, las cuales condicionan el almacenamiento y transporte de COS, favoreciendo la erosión inducida por los procesos antrópicos (Guo & Gifford, 2002; Podwojewski *et al.*, 2011).

### 1.2.1 Metodologías para estimar el COS

Existen diferentes técnicas analíticas cualitativas, semicuantitativas y cuantitativas que permiten determinar el contenido de carbono orgánico total (COT) o el C fácilmente oxidable (CFO) En la Tabla 1-1 se muestra en resumen las técnicas utilizadas actualmente para determinar COS.

**Tabla 1-1.** Métodos para estimación del Carbono orgánico del suelo.

Métodos	Proceso	Descripción
NMR	Espectroscopía de resonancia nuclear magnética	Identificación y caracterización de compuestos de carbono con base a la energía absorbida y re-emitida por los núcleos atómicos que se colocan en un campo magnético estático
DRIFT	Reflectancia difusa infrarroja de transformada de Fourier	Identificación de compuestos de carbono con base a la absorción en el infrarrojo
Oxidación húmeda	Oxidación con dicromato de potasio (Walkley-Black, Springer and Klee)	Estimación del carbono fácilmente oxidable mediante la oxidación en húmedo y la medición del CO <sub>2</sub> desprendido
Combustión	Pérdida por ignición	Se estima el carbono a partir de la destrucción de la materia orgánica por combustión, seguida de la determinación gravimétrica de la pérdida de peso de la muestra
	Combustión seca (COT)	Combustión dinámica, seguido por la reducción de los gases formados los cuales son detectados y estimados.

Adaptado de Chatterjee *et al* (2009); Gardi *et al* (2014).

El método más utilizado es el propuesto por Walkley & Black (1934), una técnica cuantitativa que consiste en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en medio ácido, donde se desprende calor durante la incorporación del ácido sulfúrico y se oxida de forma parcial del C. En este proceso se produce una reducción del dicromato, equivalente al contenido de C que es oxidado. El dicromato residual es luego titulado. Este método solo estima el CFO, por lo que se utiliza un factor de corrección que varía del 63 al 86%, dependiendo del tipo de suelo y horizonte para estimar el COT (Rosell *et al.*, 2001; Certini *et al.*, 2002; De Vos *et al.*, 2007).

El factor de corrección generalmente utilizado es 1,32 debido a que se asume que en promedio se oxida el 76% del COT (Rosell *et al.*, 2001). Amacher *et al* (1986), sugirió un factor de conversión de 1,41 para los suelos de Louisiana. Gasparoni (2008), en cambio, sugiere que debería utilizarse un factor de recuperación específico para cada tipo de suelo y situación.



El método de combustión seca también conocido como el método de Dumas (Grewal *et al.*, 1991), permite determinar el COT de manera precisa y exacta, mediante oxidación por combustión catalítica a 680°C para lo cual se requiere de analizadores elementales que no solo arrojan datos de COT sino de N y S. Para calcular el contenido de materia orgánica (MO), se asume que el 58% de la MO está compuesta por C y por ende es necesario emplear el factor de conversión 1,724 propuesto por Van Bemmelen (Tabatabai, 1996).

Otro método cuantitativo es de calcinación, más conocido como pérdida por ignición, en el cual se cuantifica directamente el contenido de MO por medio de la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. En este caso para estimar COT a partir de la MO también se debe utilizar el factor Van Bemmelen (Eyherabide *et al.*, 2014).

### 1.3 CO en suelos de páramo

Los páramos son ecosistemas de alta montaña, cuyo límite inferior oscila entre los 3.000 y 4.8000 m.s.n.m. (Espinosa, 2008), presentes únicamente en la zona neoequatorial del planeta en Asia, África, Oceanía, Centroamérica y Sudamérica, abarcan un área total de 35.000 km<sup>2</sup> aproximadamente (Hofstede *et al.*, 2003). En América se ubican sobre las cadenas montañosas de los andes de Colombia, Venezuela, Ecuador, el Norte de Perú, Costa Rica y Panamá, entre 3.200 y 4.800 m.s.n.m. (Morales-Betancourt & Estevez-Varon, 2006).

Los suelos de páramo contienen alrededor de 10% de CO (Poulenard *et al.*, 2003), en condiciones de humedad (HR >80%) con precipitaciones por encima de 900 mm al año, el CO puede alcanzar más del 40% (Buytaert *et al.*, 2005; Podwojewski *et al.*, 2002), en condiciones secas 1% CO o menos asociados a áreas con susceptibilidad a erosión con pérdida de carbono almacenado en las capas superficiales del suelo (Bottner *et al.*, 2006).

Los suelos de los páramos andinos pertenecen en mayor proporción a las clases de los órdenes: andisoles, entisoles, inceptisoles e histosoles y se caracterizan por sus altos contenidos de materia orgánica (MO) y alta porosidad (Llambí *et al.*, 2012; Podwojewski & Poulenard, 2006). Estos suelos tienen una función importante en el ciclo del carbono (C) global, en donde abundan las turberas con espesores de hasta 150 cm, y suelos ricos en MO asociada a cenizas volcánicas, que al degradarse incrementa la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Por otra parte, los sedimentos y C que se lavan por la lluvia son transportados hacia las planicies bajas y llegan finalmente a los océanos en donde junto con todos los demás sedimentos reingresan al ciclo del C (García, 2003).

Los andisoles cubren aproximadamente el 0,84% de la superficie de la tierra y acumulan más COS que otros órdenes de suelos, aproximadamente el 5% del COS global, por lo que son considerados como el segundo orden de suelos más importante en el almacenamiento de C (31kg m<sup>-2</sup>) después de los histosoles (218 kg m<sup>-2</sup>) (Gamboa & Galicia, 2012; Óskarsson *et al.*, 2004; Tsui *et al.*, 2013), la relación de los diferentes órdenes de suelo con su contenido de C puede observarse en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2.** Carbono orgánico del suelo por orden taxonómico

<b>Orden</b>	<b>Área (10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>)</b>	<b>COS (Pg)<sup>2</sup></b>	<b>COS/Área (Pg10<sup>-3</sup>km<sup>2</sup>)</b>
<b>Histosoles</b>	1,745	357	0,205
<b>Andisoles</b>	2,552	78	0,031
<b>Inceptisoles</b>	21,580	352	0,016
<b>Espodosoles</b>	4,878	71	0,015
<b>Molisoles</b>	5,480	72	0,013
<b>Oxisoles</b>	11,772	119	0,010
<b>Entisoles</b>	14,921	148	0,010
<b>Ultisoles</b>	11,330	105	0,009
<b>Alfisoles</b>	18,283	127	0,007
<b>Vertisoles</b>	3,287	19	0,006
<b>Aridisoles</b>	31,743	110	0,003

Adaptado de Martínez *et al.*, 2008

Los andisoles están distribuidos en Europa, África, algunas islas del Pacífico, Asia y en América desde Alaska hasta Argentina (Shoji *et al.*, 1993). En Colombia corresponden aproximadamente al 11,6% del territorio, ocupan principalmente zonas de ladera de los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda, Quindío, Valle del Cauca (Hincapie & Tobón, 2012). Se desarrollan a partir de material piroclástico amorfo, su fracción coloidal está dominada por minerales de rango-corto como la alófana y la imogolita, o por complejos organo-metálicos (Borja *et al.*, 2008)

Los histosoles, son suelos orgánicos que se desarrollan principalmente en humedales de zonas templadas y boreales, a partir de la acumulación de vegetación de musgo y pastos; son frecuentes en zonas casi constantemente saturadas en donde las condiciones (bajas temperaturas, acidez) favorecen la acumulación de materia orgánica, poseen propiedades físicas, químicas y mecánicas que difieren enormemente de suelos minerales (Borja *et al.*, 2008).

### 1.3.1 Estudios de CO en suelos de páramo

Acorde con Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC (1988) el COS del páramo de Chingaza en los primeros 20 cm del suelo cuantificado con el método de Walckley-Black, es de 27,55%. Faivre (1989), relacionó las formas de C presentes en el páramo de Guasca y encontró que la descomposición del mismo estaba directamente relacionada con la profundidad, lo que a su vez afectaba la relación carbono-nitrógeno en el suelo.

Hofstede (1995), hizo una clasificación del C contenido en la vegetación, la necromasa, la biomasa radicar y el suelo en el páramo de Agua Leche ubicado en el Parque Nacional Natural Los Nevados (Colombia), en muestras hasta 200 cm de profundidad en el perfil del

suelo y concluyó que el contenido promedio de C en esos suelos es de 11.54%, el mayor contenido de C liberable a la atmósfera se encontraba en la vegetación y el mantillo.

García (2003), caracterizó el C contenido en tres compartimientos (suelo mineral, mantillo y materia orgánica libre) de suelos del páramo de Chingaza del orden histosol y encontró que están constituidos en aproximadamente un 10% de C y un 70% de agua, sin hallar diferencias significativas en el contenido de C de los compartimientos estudiados.

van der Hammen (2002) mostró mediante interpretación de imágenes de satélite, que entre 1970 y 1990 en el páramo de Guerrero, ocurrió un cambio de aproximadamente un 30% de la vegetación de páramo, la cual se reemplazó por pastos o cultivos, evidenciando un cambio en casi el 94% de la estructura original del páramo como consecuencia de quemadas y establecimiento de cultivos de papa, leguminosas y pasturas.

Ávila (2005), determinó 14 indicadores de tipo morfológico, físico y químico que le permitieron evaluar a escala de finca, la calidad de los suelos para el páramo de Guerrero, dedicados al cultivo de papa en un sector localizado en la cuenca alta del río Frío y concluyó que la actividad agropecuaria y el manejo dado al suelo en esta zona trajeron consigo cambios significativos en su morfología, por ejemplo, la desaparición del horizonte orgánico superficial y la disminución en el espesor del horizonte Ap de los suelos localizados en las cimas y laderas de lomas, crestones y espinazos.

Rodríguez (2010), analizó la transformación ambiental del páramo de Guerrero para el periodo 1940 - 2007, utilizó como indicadores Agua Virtual, análisis del balance energético del cultivo de papa, dinámica de las coberturas vegetales y uso del suelo, encontró que la intervención antrópica es responsable de la pérdida de las 2/3 partes de la vegetación de páramo. Durante el periodo evaluado, los cambios en este ecosistema ocasionaron pérdidas equivalentes a 825 ha de páramo, de las cuales 740 ha se intensificaron con usos agrícolas, promoviendo los procesos de degradación y erosión del suelo, y afectando la capacidad hídrica del ecosistema.

Barreno (2012), cuantificó el COS en zonas con diferentes usos de la tierra en el páramo de Chingaza (coberturas vegetales de páramo, pasto y papa) encontró que el C se concentra en los horizontes superficiales con mayores valores de  $C \cdot m^{-2}$  en suelos bajo cultivo, cobertura de páramo y pasto, respectivamente.

## 1.4 Área de estudio

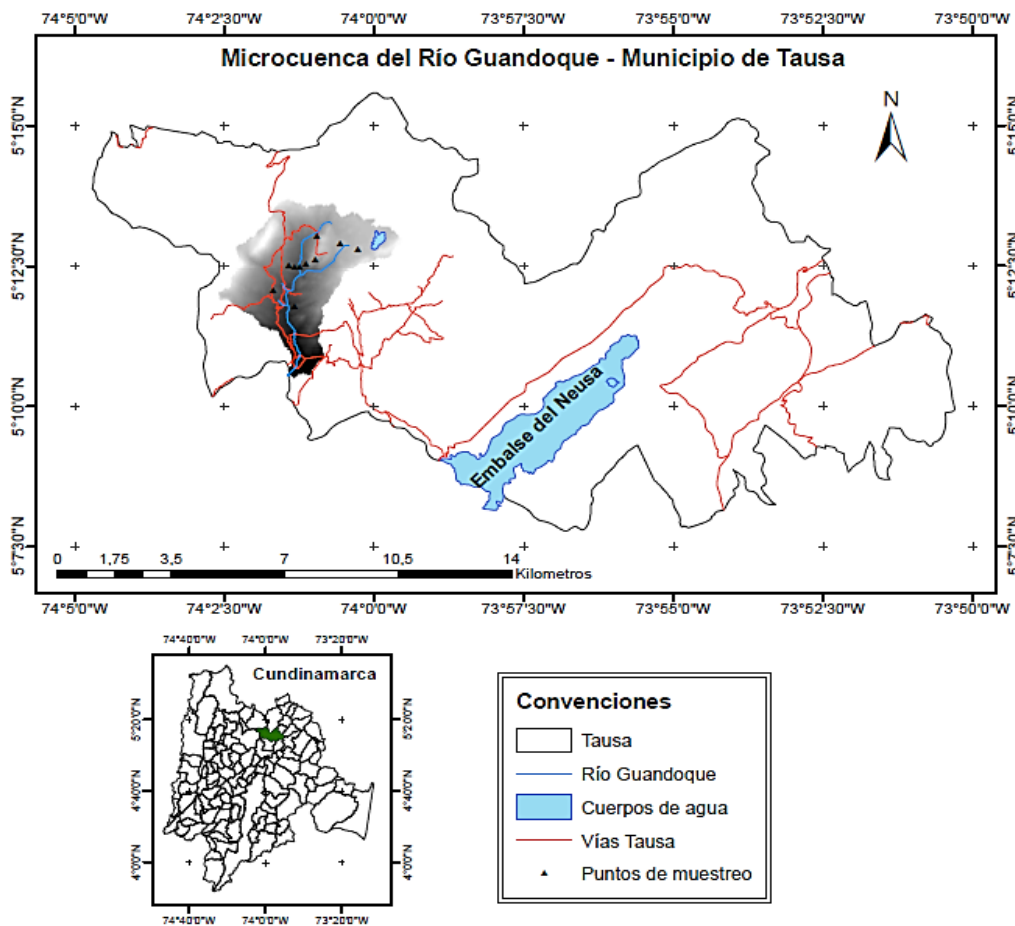
El páramo de Guerrero tiene una importancia estratégica para la sociedad ya que provee de agua a la represa del Neusa, a varios acueductos veredales y municipales en Zipaquirá, Cogua, Tausa y es parte del sistema hídrico de Bogotá (Morales *et al.*, 2007). Con una extensión aproximada de 34.322 ha (Cubillos, 2011), se encuentra ubicado en la cordillera oriental al norte de Cundinamarca, occidente de la Sabana de Bogotá, coordenadas 74° 06' W y 05° 04' N; abarca parte de los municipios de Cogua, Zipaquirá, Carmen de Carupa, Pacho, San Cayetano, Subachoque, Tausa y Susa (Rangel, 2000).

El páramo de Guerrero es el segundo en extensión después del de Sumapaz, es el más intervenido y en él se han reconocido los fenómenos de degradación más extendidos por causa de la intensificación agrícola con prácticas de manejo inadecuadas, las cuales ponen en peligro la prestación de los servicios ecosistémicos de regulación de los ciclos hídrico y biogeoquímicos (C y N) (Cubillos, 2011; Morales, Otero, & Van der Hammen, 2007). Los bienes y servicios ambientales de los páramos son de vital importancia y hacen prioritaria la continuidad de las investigaciones enfocadas a la protección de los suelos y a los procesos de regulación hídrica (Pinto, 2009).

### 1.4.1 Localización

La zona de estudio corresponde a la microcuenca del río Guandoque, ubicada en el páramo de Guerrero (Figura 1-1), en la vereda San Antonio del municipio de Tausa en el departamento de Cundinamarca entre  $5^{\circ}12'48''\text{N}$   $74^{\circ}00'16''\text{W}$  y  $5^{\circ}11'47''\text{N}$   $74^{\circ}1'20''\text{W}$ . (CAR *et al.*, 1997).

**Figura 1-1.** Localización de la Microcuenca del río Guandoque



La microcuenca del río Guandoque, pertenece a la subcuenca del río Cubillos localizada al suroeste de la cabecera municipal de Tausa, limita al norte con la microcuenca del río Sabaneque, al sur con la cuenca del río Neusa, aguas abajo del embalse. Recorre un área

total de 7.000 ha, hace parte de los municipios de Cogua y Tausa. En Tausa esta cuenca tiene un área de captación de 4.729 ha que representan el 23,2 % del área municipal (Alcaldía de Tausa, 2000; CAR *et al.*, 1997).

El río Guandoque nace en la Laguna Verde a 3.640 m.s.n.m., recorre aproximadamente 10,5 km, a través de paisajes típicos de páramo (laderas, terrazas y colinas fluvio-glaciares) hacia la parte más baja de su cauce, forma un pequeño valle sometido a inundaciones estacionales. El río Guandoque se une al río Salitre para formar el río Cubillos, que desemboca en el embalse del Neusa (CAR *et al.*, 1997).

### 1.4.2 Geología

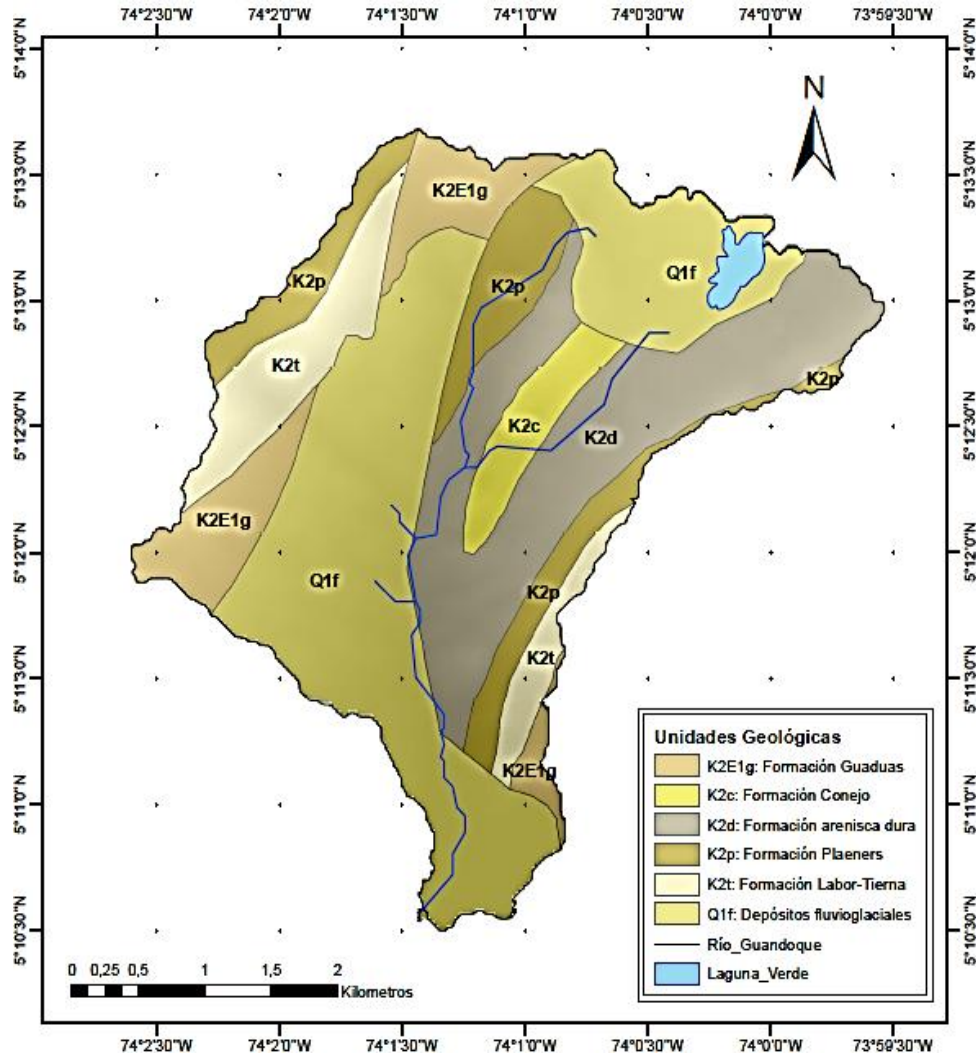
Los suelos de la microcuenca del río Guandoque tiene como material parental, rocas mixtas sedimentarias del Cretácico Superior y el Terciario Inferior, compuestas principalmente de areniscas compactas y friables con intercalaciones de limolitas silíceas, lodolitas, arcillolitas y localmente capas de ceniza volcánica (Ávila, 2005), hasta sedimentos consolidados y semiconsolidados cuaternarios (Figura 1-2), proveniente del grupo Guadalupe, Formación Guaduas y Formación Conejo (Alcaldía de Tausa, 2000; Montoya & Reyes, 2003).

El área de estudio corresponde a la zona de recarga de mayor extensión y potencial hidrogeológico, ubicada sobre los flancos de pliegues sinclinales, los cuales favorecen potencialmente la infiltración de agua, a través de capas de areniscas o capas de materiales de naturaleza arenosa (Morales *et al.*, 2007).

En la microcuenca del río Guandoque el grupo Guadalupe, está constituido por las formaciones Dura ( $K_2d$ ), la cual ocupa el 24% de esta zona y suprayace en el sector occidental en el sinclinal de Río Frío y anticlinal de Zipaquirá, conformada por areniscas, lodolitas, areniscas y arcillolitas; predominando la cuarzoarenita y arcillolitas arenosas. La Formación Plaeners ( $K_2p$ ) corresponde al 12% de la microcuenca, aflora en la parte central en el anticlinal de Tausa, reconocida como unidad silícea con alto contenido de limolitas silíceas y arcillolitas negras, también puede presentar lodolitas arenosas y areniscas muy finas limosas en capas muy gruesas de grano muy fino y de color blanco amarillento. La formación Labor-Tierna ( $K_2t$ ), abarca el 9% del área de estudio se establece desde el techo de la formación  $K_2p$  hasta la base de la Formación Guaduas, se caracteriza por la presencia de lodolitas y limolitas silíceas con intercalaciones de arcillolitas, también hay cuarzoareniscas de grano muy fino sub-feldespáticas estratificadas, de color crema-blanco (Montoya & Reyes, 2003).

La formación Guaduas ( $K_2E_1g$ ) está constituida por una secuencia arcillo arenosa con mantos de carbón, conformada por conjuntos de arcillolitas, lodolitas, limolitas arenosas y areniscas cuarzosas (Alcaldía de Tausa, 2000; IGAC, 2000) y está presente en el 10% de la microcuenca del río Guandoque.

Figura 1-2. Geología del área de estudio.



Adaptado de Montoya & Reyes (2003).

Los depósitos fluvio-glaciales (Q<sub>1f</sub>) son el material parental dominante en esta zona, representa el 41% del área, con una litología dominante de gravas y arenas de grano fino, no consolidadas, confinados a lo largo de los valles fluviales y de los núcleos de las estructuras sinclinales (Montoya & Reyes, 2003),

Un 4% de material litológico proviene de la Formación Conejo (K<sub>2c</sub>), conjunto arcilloso y arenoso que aflora en la parte central de la Cordillera Oriental, la suprayace una formación arenisca dura; que presenta intercalaciones de arcillolitas en bancos gruesos con capas medias a muy gruesas que generan una morfología de valles y crestas (Montoya & Reyes, 2003).

### 1.4.3 Geomorfología

La microcuenca del río Guandoque se originó a partir de tres ambientes morfogenéticos (Figura 1-3). El ambiente dominante es el paisaje montañoso estructural - denudacional que ocupa el 60% de la microcuenca, los procesos de denudación fluvio - erosional han ocasionado cambios evidentes en las geoformas iniciales. En esta unidad es posible agrupar algunas geoformas originadas por acción glaciárica sumadas al efecto combinado de la escorrentía y los fenómenos hidrogravitacionales y gravitacionales en un subambiente morfogénico llamado paisaje montañoso glaci-estructural que corresponde al 24% del área total. Los tipos de relieve que sobresalen en este subambiente son los crestones, constituidos por estratos intercalados de areniscas y arcillolitas (en sectores con depósitos de ceniza volcánica de espesor variable); las crestas en zonas con pendientes >75%, con laderas estructurales y erosionales constituidas principalmente por una intercalación de arenitas cuarzosas, arcillolitas y lutitas. Los espinazos, conformados por intercalaciones de areniscas y arcillolitas, en zonas de pendientes superiores al 50% (Alcaldía de Tausa, 2000; Ávila, 2005).

El subambiente morfogénico montañoso estructural - erosional, ocupa el 36% de la zona, con paisajes afectados por la erosión fluvial y movimientos en masa, los tipos de relieve son lomas asociadas a crestones, constituidos por intercalaciones de areniscas y arcillolitas con influencia de ceniza volcánica, con pendientes entre 25 y 50%.

El 31% del área se originó a partir de procesos de acumulación fluvial, pero la fuerte disección generó cambios en el relieve original, dando paso a formas onduladas e inclinadas. Incluye lomas compuestas por material arenoso cuarzoso con intercalaciones de lutitas y arcillolitas; y valles aluviales, provenientes de ambiente mixto denudacional – depositacional, se caracterizan por sus formas alargadas relativamente planas y estrechas intercaladas entre dos áreas de relieve más alto, formados por aportes longitudinales y laterales de material y sedimentos acarreados en las partes bajas del río Guandoque y la quebrada Santuario, al río Cuevas, el río Las Juntas al fluir al embalse del Neusa y al río Sabaneque (CAR *et al.*, 1997).

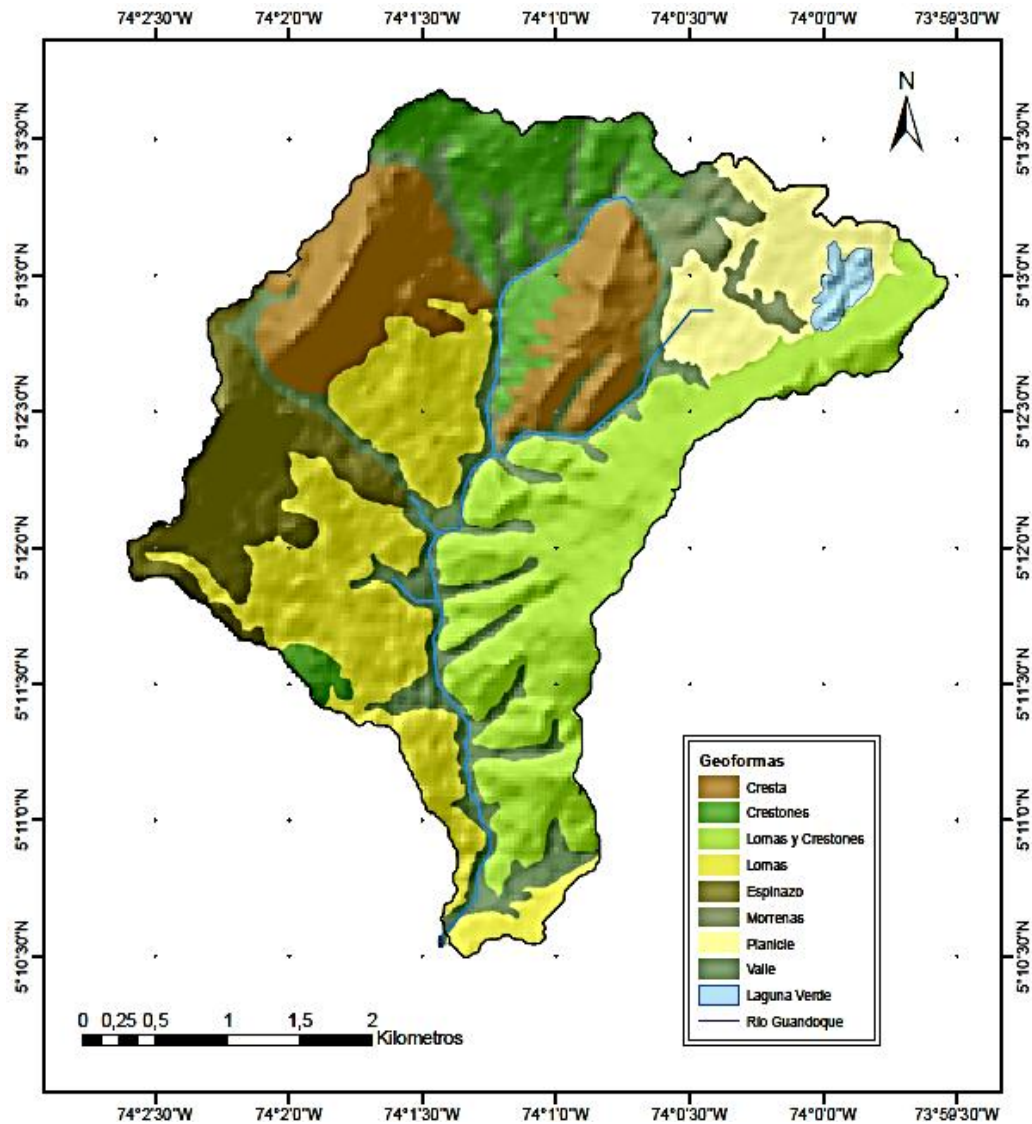
La zona incluye una depresión o planicie glaciárica situada al noroeste del área municipal en la vereda de San Antonio, hacia los 3,650 m de elevación, donde sobresale la laguna Verde. Esta forma del relieve es importante porque ser el lugar de recarga de acuíferos subterráneos y nacimiento de varias quebradas afluentes del embalse del Neusa. La influencia glaciárica en ambiente morfogenético depositacional 9% de la microcuenca del río Guandoque, origino campos morrénicos o morrenas, a partir de suelo y derrubios de gelifacción provenientes de áreas altas adyacentes (CAR *et al.*, 1997).

### 1.4.4 Clima

Según el sistema Caldas - Lang, el clima predominante en esta zona es muy frío húmedo, con pequeñas áreas clasificadas como extremadamente frío húmedo y muy frío semihúmedo (Alcaldía de Tausa, 2000). Para determinar el régimen de precipitación de la

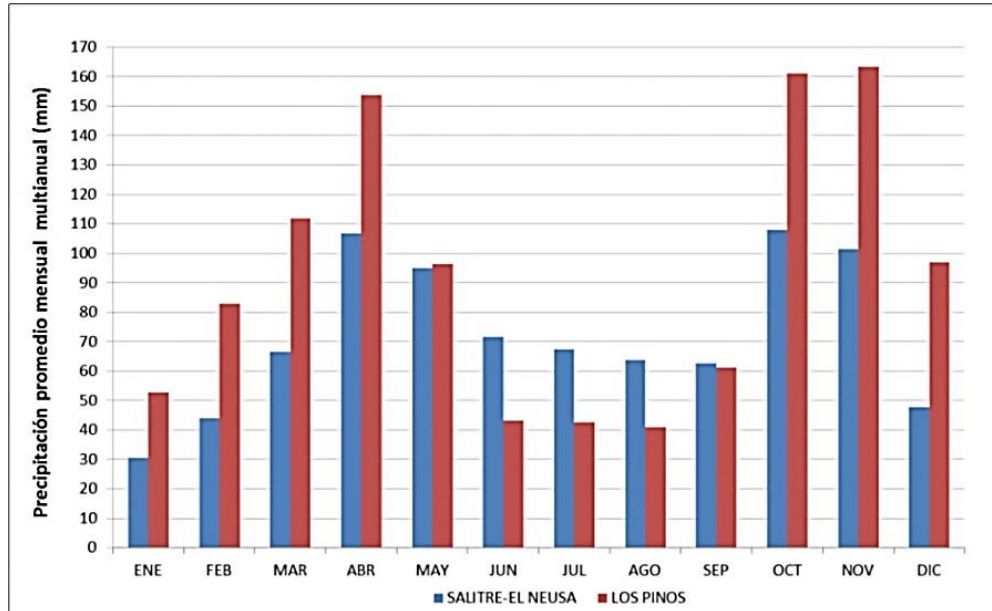
zona, se empleó información de precipitación promedio multianual de las estaciones de la CAR más cercanas a esta microcuenca, observando un comportamiento bimodal que varía entre 865 mm (estación Salitre-El Neusa) y 1107 mm (estación Los Pinos) año, con dos periodos de lluvias marzo - mayo, y octubre - noviembre (Figura 1-4); el periodo seco de diciembre - febrero y junio - septiembre.

**Figura 1-3.** Mapa de geomorfología de la microcuenca del río Guandoque derivado del MDE de la zona de estudio





**Figura 1-4.** Precipitación promedio multianual en la microcuenca del río Guandoque  
Elaborado a partir de la información de la CAR



Según CAR *et al* (1997) en esta microcuenca hay tres pisos bioclimáticos: páramo (Pb) con un régimen de humedad húmedo, temperatura promedio  $< 8^{\circ}\text{C}$  alturas  $>3400$  m; páramo bajo o alto andino (Pbsh), con régimen de humedad húmedo, temperatura promedio entre  $8 - 10^{\circ}\text{C}$ , altura  $3.200 - 3400$  m; y piso climático andino (Ash) con temperatura promedio entre  $10 - 11^{\circ}\text{C}$ , con régimen de humedad semihúmedo, altitud  $2800 - 3200$  m.

### 1.4.5 Cobertura y uso

La clasificación de la cobertura y uso, fundamentada en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), muestra para la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero cinco grupos principales, que derivan en trece unidades detalladas (Figura 1-5 y Tabla 1-3) los cuales fueron adaptados de los reportados por Peña (2015).

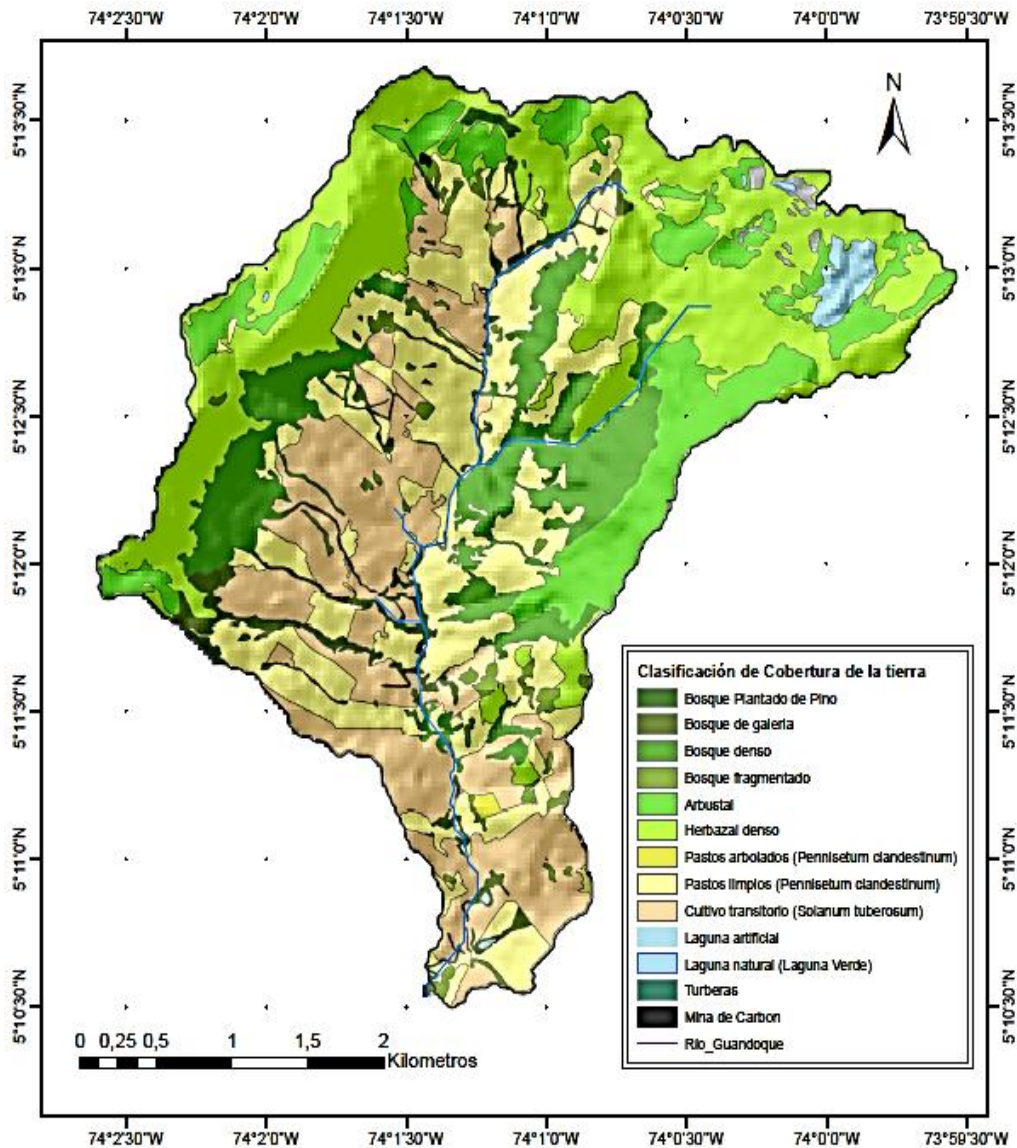
Los bosques y las áreas seminaturales equivalen al 56% de la microcuenca, seguidos por los territorios agrícolas que abarcan el 42%, de los cuales el 23% corresponde a pasturas y 19% a cultivos de papa (Peña Quemba, 2015).

Las turberas ocupan el 0,4%, y se ubican en las áreas aledañas a la Laguna Verde, se caracterizan por la presencia de plantas formadoras de cojines como el musgo *Sphagnum sp*, y un sustrato con alto contenido de materia orgánica.

Tras la comprobación en campo, se evidencian los efectos de la actividad antrópica cerca de Laguna verde, tales como compactación del suelo, marcas de maquinaria, que

continúan a pesar de las estrategias de restauración; la vegetación incluye frailejones, gramíneas, arbustos de porte bajo y musgos.

**Figura 1-5.** Mapa de clasificación de cobertura de la microcuenca del río Guandoque año 2012.



La microcuenca agrupa cuatro categorías según la clasificación de uso de la tierra. Predominan zonas de conservación (855 ha), seguidas por las de uso agrícola pecuario (345 ha), agrícola intensivo (292 ha), cuerpos de aguas continentales (16,5 ha) y minería (0,5 ha). Entre las coberturas con uso agrícola intensivo y agrícola pecuario de este páramo interandino sobresalen los cultivos de papa y las pasturas con fines ganaderos, a las cuales se atribuyen procesos de degradación química de suelos y aguas asociados a contaminación con fertilizantes y agroquímicos y degradación física, compactación y

pérdida de la capacidad de retención de agua en el suelo, atribuida a labranza inadecuada y al sobrepastoreo (Rodríguez, 2010).

**Tabla 1-3.** Distribución de unidades de cobertura de la tierra en la microcuenca del río Guandoque

Grupo principal	Unidad detallada	Descripción	Área (Ha)
<b>1. Territorios artificializados</b>	1.3.1. Zonas de extracción minera	Carbón	0,46
	2.1.5. Cultivos transitorios-Tubérculos	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	291,87
<b>2. Territorios Agrícolas</b>	2.3.1. Pastos limpios	Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	342,81
	2.3.2. Pastos arbolados		1,91
	3.1.1. Bosque denso		178,93
<b>3. Bosques y Áreas Semi-naturales</b>	3.1.3. Bosque fragmentado		29,3
	3.1.4. Bosque de galería y ripario		48,16
<b>4. Áreas Húmedas</b>	3.1.5. Plantación forestal	Bosque Plantado (Pino)	2,67
	3.2.1.1. Herbazal denso		397,41
	3.2.2.2. Arbustal abierto		191,98
<b>5. Superficies de Agua</b>	4.1.2. Turberas		5,61
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales		16,25
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales		0,28
<b>TOTAL</b>			<b>1507,65</b>

Adaptado de Peña Quemba (2015)

## 1.5 Referencias

- Alcaldía de Tausa. (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial de Tausa. Diagnóstico 2000-2008. 232 pp.
- Amacher, MC.; RE Henderson; RH Brupbacher & JE Sedberry. (1986). Dichromate-oxidizable and total organic carbon contents of representative soils of the major soil areas of Louisiana. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal* 17: 1019-1032.
- Armas, C. (2009). Caracterización físico-química y dinámica del carbono orgánico en los suelos de algunos ecosistemas de las Islas Canarias. Servicio de Publicaciones-Universidad de la Laguna.
- Ávila, E. Á. (2005). Determinación de indicadores para evaluar la calidad de suelos dedicados al cultivo de papa. Universidad Nacional de Colombia.
- Barreno, J. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en suelos con diferentes usos de la tierra en el Páramo de Chingaza.
- Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008). Histosoles y andosoles de los páramos. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo (p. 11).
- Bottner, P., Pansu, M., Sarmiento, L., Hervé, D., Callisaya-Bautista, R., & Metselaar, K. (2006). Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using <sup>14</sup>C- and <sup>15</sup>N-labelled plant material. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2162–2177.

doi:10.1016/j.soilbio.2006.01.029

- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2007). *The nature and properties of soils*. (S. Helba, Ed.) Macmillan Publishing Co New York (Vol. 13). Prentice Hall.
- Buytaert, W., Sevink, J., De Leeuw, B., & Deckers, J. (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, 127(1-2), 114–129. doi:10.1016/j.geoderma.2004.11.021
- CAR, IGAC, & Alcaldía de Tausa. (1997). Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Tausa. doi:10.1109/EMAP.2008.4784209
- Certini, G; G Corti & M Fernández Sanjurjo. (2002). Comparison of two soil organic matter extractants and determination of the «Walkley-Black» correction factors for organic fractions from a volcanic soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 685-693.
- 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*. doi:10.1080/07352680902776556
- Cruz, a B., Barra, J. E., Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Evaluation*, 13(2), 90–97. doi:10.1111/j.1564-9148.2008.00030.x
- Cubillos, A. (2011). El proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Universidad Nacional de Colombia.
- de Paul Obade, V., & Lal, R. (2013). Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS). *Catena*, 104, 77–92. doi:10.1016/j.catena.2012.10.014
- De Vos, B., S. Lettens, B. Muys, and J.A. Deckers. (2007). Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: Recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use Manage.* 23:221–229. doi:10.1111/j.1475-2743.2007.00084.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. doi:10.1016/S0929-1393(00)00067-6
- Eyherabide, M., Saíns, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia Del Suelo*, 32(7620), 13–19.
- Ezeaku, P. I., & Eze, F. U. (2014). Effect of land use in relation to slope position on soil properties in a semi-humid Nsukka area, Southeastern Nigeria. *Journal Agricultural Research*, 52(8), 369–381.
- Faivre, P. (1989). Lessivage et planosolisation dans les sequences de sols caracteristiques des milieux intrandins de Colombie (Amérique du Sud). Université de Nancy I. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=S6l1tgAACAAJ>
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación.
- Gamboa, A. M., & Galicia, L. (2012). Land-use/cover change effects and carbon controls on volcanic soil profiles in highland temperate forests. *Geoderma*, 170, 390–402. doi:10.1016/j.geoderma.2011.11.021
- García, J. (2003). Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de

Chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio. Pontificia Universidad Javeriana.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds). (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp. doi:10.2788/37334

Gasparoni, J.C. (2008). Determinación de la materia orgánica del suelo. En: Galantini, J.A. (ed). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Vol. 1. 1ra edn. Pp.41-50. Edi.UNS. Bahía Blanca. Argentina. 309pp.

Grewal, K.S.; GD Buchan & RR Sherlock. (1991). A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soil. *Journal of Soil Sci.* 42: 251-257.

Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345–360. doi:10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x

Hincapie, E., & Tobón, M. (2012). Dinámica del agua en Andisoles bajo condiciones de ladera. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 65(2), 6765–6777.

Hofstede, R. (1995). Effects of burning and grazing on a colombian páramo ecosystem. Universidad de Amsterdam 1995. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02704a&AN=unc.000044694&lang=es&site=eds-live>

Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (Eds.). (2003). Los paramos del Mundo. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia.

IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá D.C.

IGAC. (1988). Estudio semidetallado de suelos de áreas representativas de los paramos de Sumapaz, Neusa y Chingaza : departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C.

IGAC. (2000). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C.: IGAC.

Lal, R. (2001). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*, 71, 145–191. doi:10.1016/S0065-2113(01)71014-0

Lantz, A., Lal, R., & Kimble, J. (2002). Land Use Effects on Profile Soil Carbon Pools in Three Major Land Resource Areas of Ohio. In *Agriculture Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press. doi:doi:10.1201/9781420032291.ch15

Lee, S. B., Lee, C. H., Jung, K. Y., Park, K. Do, Lee, D., & Kim, P. J. (2009). Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 227–232. doi:10.1016/j.still.2009.02.007

Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo Y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. Retrieved from [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext)

Martinez, L. J. (2006). Modelo para evaluar la calidad de las tierras : caso del cultivo de papa. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 96–110.

- Mogollón, J., Rivas, W., Muñoz, B., Márquez, E., Lemus, L., Colmenares, M., Hernández, S. (2013). Cambios en el carbono orgánico del suelo bajo sistemas agrícolas intensivos en la península de Paraguaná, Estado Falcón. In XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo (p. 6).
- Montoya, D., & Reyes, G. (2003). Geología de la plancha 209 Zipaquirá.
- Morales, M., Otero, J., & Van der Hammen, T. (2007). Complejo Guerrero. In Atlas de páramos de Colombia (p. 83:85). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Morales-Betancourt, J. A., & Estevez-Varon, J. V. (2006). El Páramo : ¿Ecosistema En Vía De Extinción ? Luna Azul, (22), 39–51.
- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Brevik, E. C., & Cerdá, A. (2015). Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural areas: A comparison of entire soil profiles and soil control sections. *Journal of Environmental Management*, 155, 219–228. doi:10.1016/j.jenvman.2015.03.039
- Peña Quemba, D. C. (2015). Variabilidad del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero. Tesis para optar por el título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia., Sede Bogotá.
- Pinto, J. H. (2009). La vegetación de la región de vida paramuna colombiana: Con especial referencia a la cordillera Occidental y los páramos del norte de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2006). Páramos soil. En: Encyclopedia of soil science. Lal. R., (Ed.), *Soil Science (Second., pp. 1239–1242)*. doi:10.1081/E-ESS-120017326.
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Nguyet, M. L., de Rouw, a., Nguyen, V. T., Pham, Q. H., & Tran, D. T. (2011). Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, 87(2), 226–239. doi:10.1016/j.catena.2011.06.002
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the pa. *Management*, 18(1), 45–55. doi:10.1079/SUM2001100
- Poulénard, J., Podwojewski, P., & Herbillon, A. J. (2003). Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117(3-4), 267–281. doi:10.1016/S0016-7061(03)00128-9
- Rangel, O. (2000). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- Rodríguez, P. C. (2010). Aproximaciones teóricas y metodológicas para evaluar parcial e integralmente las transformaciones ambientales en el páramo de Guerrero. Universidad Nacional de Colombia.
- Rosell, RA; JC Gasparoni & JA Galantini. (2001). Soil organic matter evaluation. En: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds). *Assessment Methods for Soil Carbon*. Lewis Publishers, USA. Pp. 311-322.
- Schrumpf, M., Schulze, E. D., Kaiser, K., & Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories?

- Biogeosciences, 8(5), 1193–1212. doi:10.5194/bg-8-1193-2011
- Shoji, S., M. Nanzyo and R. Dahlgren. (1993). Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. Elsevier, Amsterdam. 288 p.
- Stockmann, U., Adams, M. a., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M. Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164(2013), 80–99. doi:10.1016/j.agee.2012.10.001
- Tabatabai, MA. (1996). Soil organic matter testing: An overview. p. 1-10. In: F Magdoff et al. (eds), *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSA Spec. Pub. 46. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Tamocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. a G., Kuhry, P., Mazhitova, G., & Zimov, S. (2009). Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), 1–11. doi:10.1029/2008GB003327
- Tan, Z. ., Lal, R., Smeck, N. ., & Calhoun, F. . (2004). Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. *Geoderma*, 121(3-4), 187–195. doi:10.1016/j.geoderma.2003.11.003
- Tsui, C.-C., Tsai, C.-C., & Chen, Z.-S. (2013). Soil organic carbon stocks in relation to elevation gradients in volcanic ash soils of Taiwan. *Geoderma*, 209-210, 119–127. doi:10.1016/j.geoderma.2013.06.013
- van der Hammen, T. (2002). Diagnóstico, cambio global y conservación. *Memorias Congreso Mundial de Páramos*, 60–71. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:DIAGNÓSTICO+,+C+AMBIO+GLOBAL+Y+CONSERVACIÓN#0>
- Walkley, A & IA Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wang, S., Wang, X., & Ouyang, Z. (2012). Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 387–395. doi:10.1016/S1001-0742(11)60789-4.

## **2. Capítulo 2. Caracterización físico-química de una toposecuencia en el páramo de Guerrero**

### **2.1 Introducción**

Los páramos, considerados ecosistemas estratégicos por su alto potencial de almacenamiento de agua, materia orgánica y carbono, cumplen un papel regulador en los ciclos del agua y el C. Sus suelos se caracterizan por su baja resiliencia, susceptibilidad a la pérdida de materiales por erosión, emisiones de dióxido de carbono y el cambio del uso de la tierra de cubiertas naturales a artificiales (pastos y cultivos) (Malagón, 2002; Maldonado & De Bievre, 2011).

Los cambios de uso en el suelo de las zonas de páramo a cultivos, alteran su estructura y agotan la reserva de carbono orgánico del suelo (COS), esto sumado a la posición topográfica favorece los procesos erosivos por escorrentía y por acción del viento, La intensificación y cambio de uso del suelo, las actividades de labranza y otras prácticas agrícolas inadecuadas contribuyen a incrementar el coeficiente de escurrimiento, lo que altera el papel regulador de los flujos hídricos del páramo y afecta la calidad del suelo (Podwojewski, 1999; Tivet *et al.*, 2013).

El 99% de los páramos del mundo se encuentra en la Cordillera de los Andes, la mayor parte ubicados en las cordilleras colombianas y luego distribuidos hasta el centro de Ecuador, Perú, Venezuela, Costa Rica (Podwojewski & Poulénard, 2006).

Colombia cuenta con 2'906.137 ha de páramo, distribuidos en 36 complejos, entre los cuales el páramo de Guerrero con una extensión aproximada de 34.322 ha (Cubillos, 2011; Sarmiento *et al.*, León, 2013), es uno de los más importantes no solo porque que abastece de agua a los municipios de Cogua, Zipaquirá, Carmen de Carupa, Pacho, San Cayetano, Subachoque, Tausa, Susa y parte de Bogotá (CI-CAR, 2004; Morales *et al.*, 2007; Rangel, 2000), sino por ser el más intervenido antropicamente (Alzate Atehortúa, 2008).

La información acerca de la dinámica del COS y del proceso de degradación de los suelos del páramo de Guerrero es escasa, lo que dificulta la implementación de estrategias de manejo adecuadas para estos ecosistemas. Es por esto que con el fin de caracterizar los suelos de la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, se describió una



toposecuencia de diez perfiles bajo diferentes usos y coberturas, entre los 3300 m.s.n.m. y 3.650 m.s.n.m.

## 2.2 Materiales y métodos

### 2.2.1 Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la vereda San Antonio del municipio de Tausa en el departamento de Cundinamarca, entre 5°12'48"N 74°00'16"W y 5°11'47"N 74°1'20" W, en la microcuenca del río Guandoque del páramo de Guerrero. La temperatura media multianual de la zona varía entre los 7 y 11 °C y la precipitación promedio multianual fluctúa entre 800 y 1.100 mm (Morales *et al.*, 2007). Su material litológico proviene de las formaciones Conejo, Guaduas, Grupo Guadalupe y depósitos fluvioglaciares con influencia de cenizas volcánicas (Montoya & Reyes, 2003).

Las geoformas predominantes en la parte más alta de la toposecuencia se asocian con depósitos glaciares y periglaciares, relacionados con gelifracción (crestas, cimas, laderas y derrubios), morrenas y depresiones; en la zonas medias y bajas las condiciones varían, adquiriendo importancia las laderas de denudación y las geoformas depresionales (Rangel, 2000).

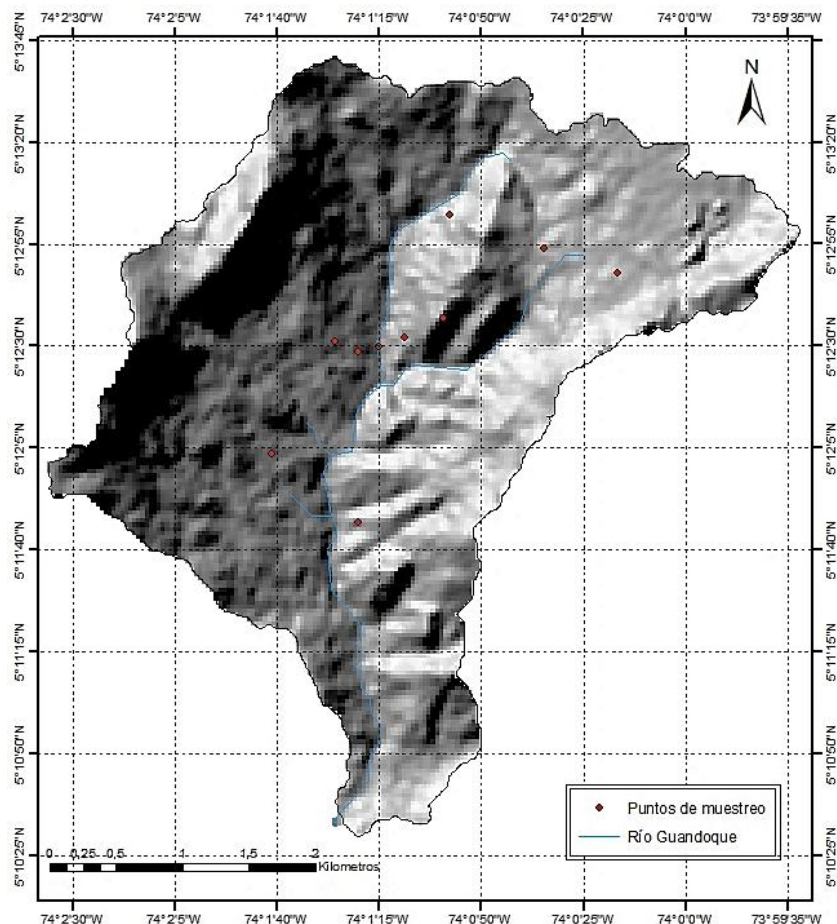
En el área de estudio predomina la cobertura de herbazal denso con un 26%, seguido de los pastos limpios y cultivos transitorios con un 23% (Peña Quemba, 2015), evidenciando el efecto antrópico sobre las coberturas naturales con una disminución de las plantas típicas de páramo como frailejones y pajonales; y un incremento de pasturas y cultivos de papa en la zona, lo cual coincide con el comportamiento reportado por León (2011) quien afirma que en total durante el periodo 1940-2007 en el complejo del páramo de Guerrero, se registró una pérdida de 825 ha de páramo de las cuales 740 ha fueron destinadas para actividades agropecuarias y 92 ha empleadas para los planes de reforestación.

### 2.2.2 Selección de la toposecuencia y muestreo

Empleando el modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio de resolución espacial de 30 m, se seleccionó un área de 1508 ha (Figura 2-1), sobre la cual se ubicaron diez perfiles que constituyen la toposecuencia de 4.9 km de distancia, ubicada entre los 3.300 - 3.650 m.s.n.m., las características para los diferentes sitios seleccionados pueden verse en la Tabla 2-1. A partir de una caracterización preliminar de la microcuenca, geología, geomorfología y clima, se corroboró en campo y se identificaron las zonas más representativas en cuanto a la interrelación de dichas variables. Con el fin de entender de forma clara la relación suelos - relieve se trazaron tres transectos cada uno con 11 ó 12 puntos, abarcando la parte alta, media y baja de la microcuenca, estos sitios se realizaron observaciones generales y descripciones mediante la utilización de la metodología de cajuela y barreno. Cuando se identificaron los perfiles tipo para las diferentes geoformas

se decidieron los puntos de muestreo siguiendo los criterios establecidos para una toposecuencia.

**Figura 2-1.** MDE de la microcuenca del río Guandoque, municipio de Tausa, Cundinamarca



Para la caracterización morfológica detallada de los 10 perfiles en campo (Anexo A), se utilizó el formato de descripción de suelos (IGAC, 2010), se tomaron muestras de los horizontes morfogénéticos para su posterior caracterización física, química y mineralógica en los laboratorios de suelos de la Universidad Nacional de Colombia y Laboratorio Nacional de suelos del IGAC, siguiendo los procedimientos del Manual de Métodos Analíticos de Laboratorio (IGAC, 2006).

Antes de ingresar las muestras al laboratorio se procedió al secado a temperatura ambiente, molienda y tamizaje por una malla de 2 mm de las mismas. Se realizó el análisis de caracterización SQ-01 que incluye textura (método de Bouyoucos), CO (Walkley y Black), bases y acidez intercambiable, pH y capacidad de intercambio catiónico efectiva (NaOHAc); densidad aparente (método del cilindro), humedad gravimétrica y volumétrica (secado a 105°C), propiedades ándicas (Índice Melánico, retención de fosfatos y extracciones selectivas de Al y Fe), pipeta y mineralogía de la fracción arcilla.

**Tabla 2-1.** Características de los diferentes perfiles descritos al interior de la toposecuencia.

Perfil	Material parental	Material subyacente	Geomorfología	Cobertura y uso	Elevación m.s.n.m.	Pendiente
I		Arcilla limosa lacustre y fluvial. Depósitos glaciales y terrazas de material no consolidado	Planicie	Frailejones, pajonales y musgo Páramo	3629	3-7%
II			Morrenas		3610	7-12%
III		Arenitas cuarzosas compactas y friables con intercalaciones de	Cresta	Frailejones y pajonales Páramo	3542	25-50%
IV		limolitas, arcillolitas y lutitas de la Formación Guadalupe		Pastos	3569	25-50%
V					3452	25-50%
VI			Valle	Papa	3404	12-25%
VII	Cenizas volcánicas			Pastos	3432	12-25%
VIII		Arcillolitas y lutitas con intercalaciones de arenitas cuarzosas y mantos de carbón de la Formación Guaduas	Lomas	Bosque	3462	12-25%
IX				Papa	3437	12-25%
X		Arenitas cuarzosas compactas y friables con intercalaciones de limolitas, arcillolitas y lutitas de la Formación Guadalupe	Lomas y crestones	Pastos	3369	25-50%

Adicionalmente se tomaron muestras sin disturbar de suelo, en cilindros de aluminio de 2,5 cm de alto y 5 cm de diámetro, cada 10 cm hasta un metro de profundidad, con el fin de evaluar la variabilidad de la densidad aparente a lo largo del perfil.

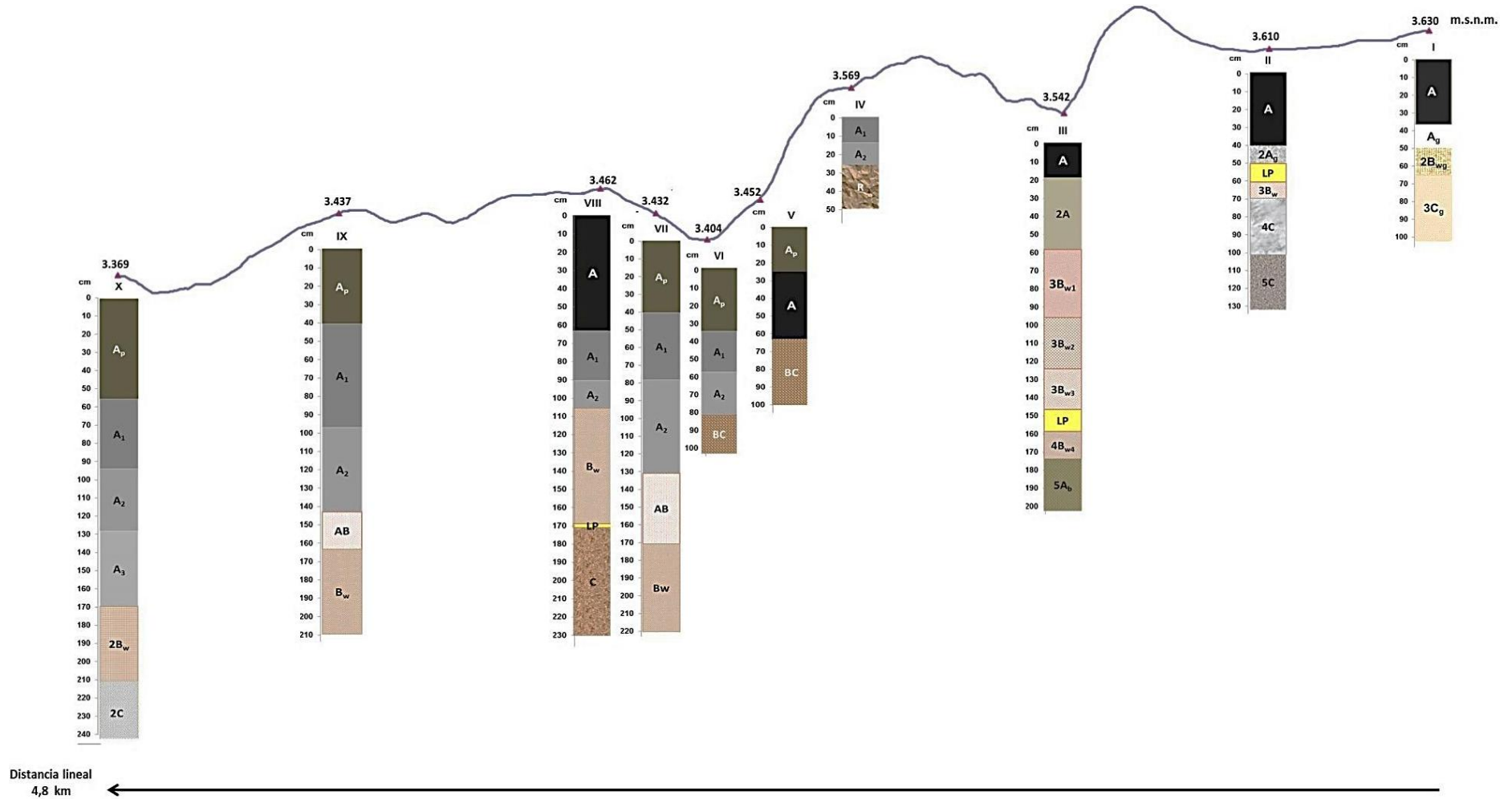
A nivel estadístico se hizo una ANOVA, se determinó la correlación entre variables y se realizó un análisis de componentes principales.

## 2.3 Resultados y discusión

Los perfiles que componen la toposecuencia se caracterizan por ser profundos (> 200 cm), con un espesor de cenizas volcánicas de 20 a 222x cm, presencia de horizontes A y Ap (Figura 2-1) de color negro, con espesor de 15-60 cm. El perfil IV muestra evidencias de erosión causadas por pendientes mayores al 50%, se generan pérdidas de materiales y se favorece el constante rejuvenecimiento del perfil de suelo evidenciado en la presencia de dos horizontes poco espesos y con un escaso desarrollo pedogenético, tiene un contacto paralítico a 50 cm de profundidad.

La presencia de discontinuidades litológicas, líneas de piedra (LP), rocas y fragmentos de roca al interior de los horizontes superficiales, evidencian la ocurrencia de fenómenos glaciáricos que dieron origen a los depósitos sobre los cuales se formaron estos suelos, en el caso del perfil III se han desarrollado horizontes enterrados (ver Figura 2-1), esto sugiere desplazamiento abrupto de materiales rocosos y suelo el cual se ha depositado dando origen a esta morfología, es claro el origen poligenético de estos suelos favorecido por la posición topográfica, clima, procesos erosivos a través del tiempo.

Figura 2-2. Perfil topográfico de la toposecuencia en la microcuenca del río Guandoque



Los perfiles que componen la toposecuencia tienen horizontes A/B/C; A/R; A/BC; A/AB/B y A/B/Ab (Figura 2-2) en donde el epipedón melánico se caracterizan por ser profundo (a excepción del perfil IV) y oscuro (negro, café oscuro), el contenido promedio de MO del 28% y de COS del 16% (Anexo A). Las condiciones de baja temperatura, alta humedad, cobertura vegetal y material parental (cenizas volcánicas), favorecen los procesos humificación, andolización y melanización, que explican los colores oscuros de los horizontes superficiales (A), el alto contenido de MO y el espesor de los mismos y coinciden con lo expuesto por (Villegas *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2012).

Los perfiles ubicados a mayor altitud (I y II) tienen mayor contenido de CO, mostrando una relación directa entre la cobertura vegetal (frailejones, pajonales y musgo), baja temperatura y alta humedad; condiciones que favorecen el proceso de humificación y disminuyen la actividad microbiana relacionada con la mineralización, exhibiendo un comportamiento similar al reportado por Zehetner *et al.* (2003) quienes afirman que en áreas desarrolladas sobre ceniza volcánica en América Latina a alturas superiores a 3200 m.s.n.m se da un alto almacenaje de CO, debido a la formación de complejos aluminio-humus, por medio de los cuales se protege la MO y se favorece el desarrollo de horizontes profundos y oscuros (Espinosa, 2004).

El perfil IV se encuentra en un sector de pendiente pronunciada (>50%), lo que condiciona el transporte constante de materiales, retrasa su evolución pedogenética, originando un suelo joven con tan solo dos horizontes de poco espesor y un contacto paralítico a los 50 cm de profundidad.

Los perfiles III, VI y VII con pendientes moderadas ( $\leq 25\%$ ) y cóncavas, muestran una acumulación de material transportado que conducen a la formación de horizontes claramente diferenciados y de mayor espesor que permiten inferir la amplia dependencia entre el grado de evolución del suelo y su posición relativa en el paisaje, tal como lo describen (Loaiza & Restrepo, 2004).

En los perfiles V, VI, VII, IX y X se evidencia la influencia antrópica, que en algunos casos ha conducido a aumentos de la mineralización, por pérdida o cambio de la cobertura vegetal o por las labores de labranza, para el caso del perfil IX también acelera la erosión y la pérdida de humedad y materia orgánica del suelo tal como lo exponen (Fillat *et al.*, 2007).

Los horizontes superficiales en su mayoría cuentan con materiales finos, de fácil transporte que pueden ser depositados a lo largo de la toposecuencia, gracias a las pendientes pronunciadas y a las curvaturas convexas, siendo más propensos a la erosión, y por ende a la pérdida de COS (Mogollón *et al.*, 2013).

El cambio textural de la mayoría de perfiles, es directamente proporcional a la profundidad de los horizontes, iniciando en la familia textural franca gruesa, luego franca fina y por último muy fina. El único perfil que muestra un comportamiento inverso es el perfil III con un cambio textural evidente que pasa por familia textural franca gruesa a arenosa, esto se debe en gran medida al origen poligenético de este perfil. En esta toposecuencia el 35%

de los horizontes tienen textura fina, 30% moderadamente fina; 21% moderadamente gruesa; 11% media y 2% gruesa.

Con respecto a la densidad aparente, estos suelos en su mayoría muestran valores menores a  $0,90 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  en un rango entre  $0,35$  y  $0,80 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , característica común en suelos con influencia de cenizas volcánicas. No se encontraron diferencias significativas entre los datos. Sin embargo se observa que en los perfiles correspondientes a las pasturas, se presentan los valores más altos de densidad aparente en los primeros 40 cm particularmente en los primeros centímetros, comportamiento relacionado con los procesos de compactación generados por el pisoteo del ganado que disminuyen la porosidad del suelo y la capacidad de retención de humedad de los mismos.

En tanto, los perfiles con menor influencia antrópica (I, II y VIII) tienen baja densidad aparente, valores que permiten inferir que las zonas dedicadas a usos de conservación mantienen las características de porosidad y alta retención de humedad más favorables.

Los datos de los análisis físico-químicos se encuentran en el anexo A, junto a las descripciones morfo genéticas de los perfiles modales.

Los valores de pH encontrados en la catena van de extremadamente ácidos (4,10) a moderadamente ácidos (5,60), acorde con la clasificación de pH del Manual de Códigos de suelos (IGAC, 2010). En el rango menor a 4,5 (extremadamente ácido) están los horizontes A y  $3C_g$  del perfil I, A del II,  $A_1$  del IV,  $A_p$  y  $A_1$  del VI;  $A_p$ ,  $A_1$  y AB del IX y los  $A_1$  y  $A_2$  del X. Con valores de pH entre 4,5 y 5,0 (Muy fuertemente ácido) los horizontes  $A_g$  y  $2B_{wg}$  del perfil I;  $2A_g$  y  $4C$  del II; A del III;  $A_2$  del IV;  $A_p$  del V;  $A_2$  del VI;  $A_p$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  y AB del perfil VII; A,  $A_1$  y  $A_2$  del VIII;  $A_2$  y Bw del IX y  $A_p$  y  $A_3$  del perfil X. En menor proporción con pH fuertemente ácido (5,0-5,5) los horizontes  $2A_g$ ,  $3B_{w1}$ ,  $3B_{w2}$ ,  $3B_{w3}$ ,  $4B_{w4}$  y  $5A_b$  del perfil III y A del V, finalmente, con pH moderadamente ácido (5,6-6,0) únicamente el horizonte BC del perfil V.

Todos los valores de pH se asocian a la génesis de suelos andisoles e inceptisoles distróficos y condicionan el comportamiento de las demás variables químicas, que inciden en la fertilidad actual del suelo.

Con respecto al comportamiento de los macronutrientes, el contenido de calcio registra valores entre  $0,11$  y  $5,56 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ , el 99% de los valores bajos corresponden a una concentración menor a  $3 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$  mientras que el 1% a valores medios.

La concentración de potasio en estos suelos oscila entre  $0,01$  y  $1,08 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ , el 68% de los horizontes tiene valores menores a  $0,02 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$  indicando una baja concentración de este elemento; el 16% corresponde a valores medios entre  $0,2$  y  $0,4 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ; el 16% restante con valores altos ( $>0,40 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ).

El contenido de fósforo para estos suelos tiene valores máximos y mínimos de  $1,78$  y mayores a  $116 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . El 56% de los horizontes tienen valores muy bajos de fósforo ( $>10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), el 12% corresponde a valores bajos entre  $10$  y  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , otro 12% corresponde

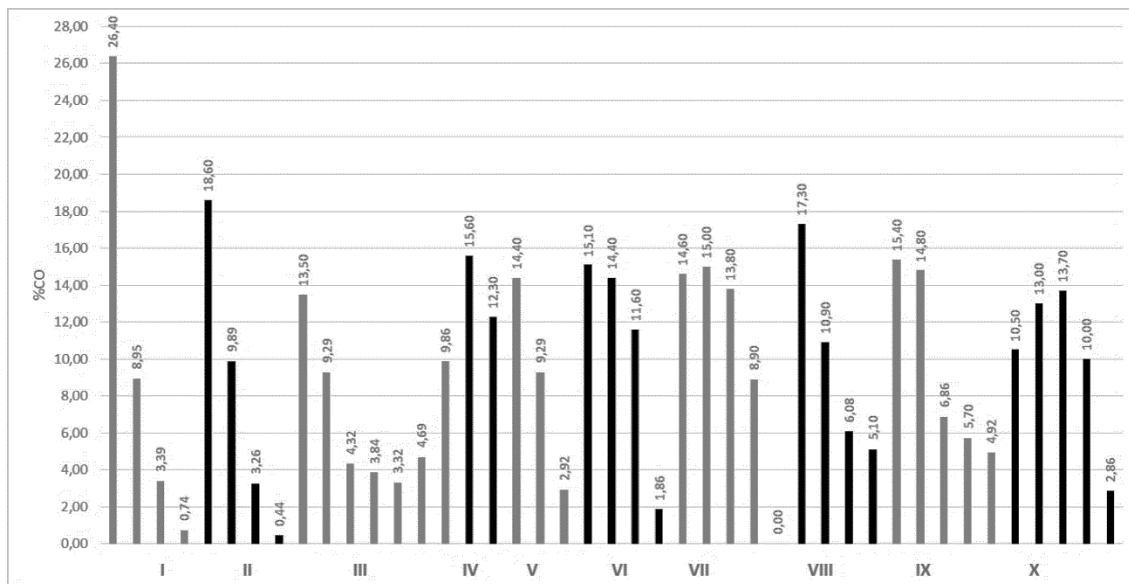
a valores medios entre 20 y 40 mg\*kg<sup>-1</sup> y por último, el 20% restante con valores superiores a 40 mg\*kg<sup>-1</sup>.

Los valores altos tanto de Ca como de K y P se aumentan y se apartan del promedio particularmente en los suelos que han sido dedicados al cultivo de papa, caso perfiles VI y IX y en menor proporción a pasturas V, VII y X.

Este comportamiento se asocia entonces a aplicaciones de enmiendas y fertilizantes, que son mayores en los suelos dedicados a cultivos de papa, menores en pastos y ausentes en los suelos con cubiertas vegetales de bosque y frailejones.

El contenido de carbono orgánico varía entre 0,44 y 26,40%, muestra un comportamiento decreciente con la profundidad, de forma general en casi todos los perfiles a excepción de los perfiles VII y X el horizonte superficial contiene más CO que los demás horizontes (ver Figura 2-3). Los perfiles VII y X muestran valores más altos de carbono hacia los horizontes intermedios, efecto posible por la labranza intensiva de la zona en ciclos del cultivo de papa anteriores. Conforme a lo expuesto por IGAC (2000) para suelos en clima frío, el 56% de los horizontes tienen un contenido de CO medio (entre 8,62 y 17,24 %CO), un 40% valores bajos con %CO menor a 8,62 y el 4% restante tiene contenidos altos de CO (>17,24%).

**Figura 2-3.** Distribución del carbono orgánico en cada horizonte de la toposecuencia



Los suelos de la catena tienen un contenido de nitrógeno que oscila entre 0,04 y 3,19%, que corresponden a valores de bajos y altos para los suelos de clima frío (IGAC, 2000). Esta característica muestra un comportamiento similar al %CO, ya que están directamente relacionados al derivarse ambos del contenido de MO en estos suelos.

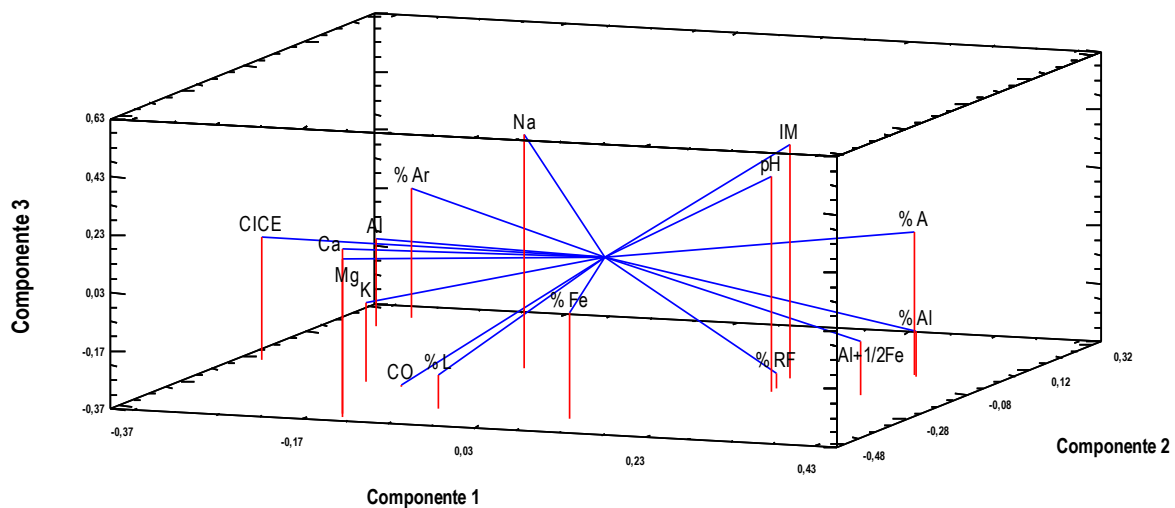
En el Anexo A, descripción de perfiles, nueve de los suelos se clasificaron al nivel categórico más alto en la clase Andisol y uno en la clase Inceptisol. El perfil IV pertenece suborden Udepts mientras que los nueve perfiles restantes al suborden Udands. Específicamente los perfiles I y II pertenecen al subgrupo Aquic Melanudands; los perfiles III, V, VI, VII, VIII, IX y X al subgrupo Pachic Melanudands; por último el perfil IV al subgrupo Lithic Humudepts.

Esta clasificación se sustenta en la interpretación de las llamadas características diagnósticas, que para el caso de los Andisoles incluyen las denominadas propiedades ándicas que incluyen el Índice Melánico (IM), retención de fosfatos (RF), la relación entre el Fe y el Al y la densidad aparente.

En general no se encontraron diferencias significativas entre las variables, sin embargo existe una correlación positiva entre el porcentaje de arenas, el IM y el pH, entre porcentaje de arenas y % Al y Al+1/2 Fe, porcentaje de arcillas y CICE y Acidez intercambiable y el %RF y el porcentaje de Aluminio. También se observan relaciones inversas o negativas entre el pH y el CO, CICE y Acidez intercambiable; y entre el porcentaje de arenas y arcilla, CICE y la acidez intercambiable.

Al realizar el ACP se agruparon en tres componentes las 16 variables (Figura 2-4). El primer componente agrupa las variables contenido de CO, el porcentaje de limo (%L), el porcentaje de hierro (%Fe) y el porcentaje de RF; el segundo componente reúne el IM, pH, porcentaje de arenas (%A), porcentaje de aluminio (%Al), y la relación entre Al y 1/2 de hierro, por último el componente tres agrupa la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), el contenido de sodio, calcio, magnesio, potasio, la acidez intercambiable (AI) y el porcentaje de arcillas (%Ar). En conjunto estos componentes permiten explicar el 72,4% de la variabilidad en los datos originales.

**Figura 2-4.** Análisis de componentes principales 3D





## 2.4 Conclusiones

La toposecuencia de 10 perfiles seleccionada para caracterizar los suelos de la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, permite explicar las relaciones existentes entre la posición topográfica relativa, los usos y coberturas del suelo y las características físico-químicas de los mismos.

De manera similar a como ocurre en otros páramos se corroboró que en ambientes extremadamente fríos, fríos y húmedos, sobre materiales piroclásticos finos (cenizas volcánicas) se favorece la formación de horizontes morfogénéticos oscuros y espesos, con altos contenidos de materia orgánica y densidades aparentes bajas (inferiores a  $0.9 \text{ Kg m}^{-3}$ ), algunos suelos muestran evidencias poligenéticas (líneas de piedra y horizontes enterrados), el análisis de las características diagnósticas permitió clasificar los suelos como andisoles (9 perfiles) e inceptisoles (1).

El alto contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno decrecen directamente con la profundidad principalmente en las coberturas vegetales con frailejones y bosque (zonas de conservación), seguido por las pastura y por el cultivo de papa. En general los suelos tienen reacción ácida y su comportamiento químico obedece a esta condición excepto en aquellos suelos que han sido intensamente sometidos a aplicación de fertilizantes.

## 2.5 Referencias

- Alzate Atehortúa, B. E. (2008). Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental bajo un enfoque sistémico de las interrelaciones sociedad-naturaleza: base teórico-metodológica y aplicación a través de Indicadores Sistémicos Ambientales - ISA, espaciales o de tercera generación. Bogotá Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) 2008.
- Bottner. P., Pansu. M., Sarmiento. L., Hervé. D., Callisaya-Bautista. R., Metselaar. K. (2006). Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using  $^{14}\text{C}$ - and  $^{15}\text{N}$ -labelled plant material. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 38, Issue 8, 2162–2177.
- Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B. D. and Deckers, J., (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian paramo region. *Geoderma*, 127:114 – 129.
- CI-CAR. (2004). Declaratoria y formulación del plan de manejo de un área de conservación en jurisdicción del Páramo de Guerrero. Bogotá.
- Cubillos A. (2001). El proceso de transformación del páramo de Guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Instituto de Estudios Ambientales -IDEA-.126 p.
- Espinosa, J. (2004). Fijación De Fosforo En Suelos Derivados De Ceniza Volcanica. *Informaciones Agronómicas*, 55, 5–8.

- Fillat, F., García, R., Gómez, D., & Reiné, R. (Eds.). (2007). Pastos del Pirineo. Madrid: CSIC.
- IGAC. (2000). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca. Mapa a escala 1:100.000. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá D.C.: IGAC.
- IGAC. (2010). Formatos de descripción de suelos. Subdirección de Agrología.
- León, N. (2011). El páramo de Guerrero: conflictos entre conservación y reprimarización de su economía. *Revista Geográfica de América Central*, 1–17. Retrieved from <http://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/6089>
- Loaiza, J. C., & Restrepo, C. (2004). Relieve Y Los Suelos En El Altiplano De Santa Rosa De Osos – Cordillera Central De Los Andes Colombianos. In *Quinto Simposio Latino sobre Geología, Minería, Medio Ambiente y Sociedad* (Noguera, Catalunya) (pp. 55–64).
- Malagón, D. (2002). Los suelos de las regiones paramunas de Colombia y Venezuela. En: *Resúmenes: Congreso Mundial de Páramos. Estrategias para la conservación y sostenibilidad de sus bienes y servicios ambientales*. Paipa, Colombia, Mayo 13-18 de 2002. pp. 39-40.
- Maldonado, S. y De Bievre, B. (Eds.). (2011). *PARAMUNDI*, 2do Congreso Mundial de Páramos. Memorias. CONDESAN, Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito. 158 p.
- Mogollón, J., Rivas, W., Muñoz, B., Márquez, E., Lemus, L., Colmenares, M., Hernáandez, S. (2013). Cambios en el carbono orgánico del suelo bajo sistemas agrícolas intensivos en la península de Paraguaná, Estado Falcón. In *XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo* (p. 6).
- Montoya, D., & Reyes, G. (2003). Geología de la plancha 209 zipaquirá. INGEOMINAS. 163 p.
- Morales, M., Otero, J., & Van der Hammen, T. (2007). Complejo Guerrero. In *Atlas de páramos de Colombia* (p. 83:85). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Peña Quemba, D. C. (2015). Variabilidad del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero. Universidad Nacional de Colombia.
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras Andinas: los páramos del Ecuador. *Boletín Informativo*, 7-14.
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2006). Páramos soil. En: *Encyclopedia of soil science*. Lal, R., (Ed.), *Soil Science (Second.,* pp. 1239–1242). doi:10.1081/E-ESS-120017326.
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T. and Hofstede, R., (2002). 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: 45–55.
- Poulénard, J., Podwojewski, P. and Herbillon, A. J., (2003). Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117: 267–281

- Rangel, O. (2000). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- Sarmiento, C., Cadena, C., Sarmiento, M., Zapata, J., & León, O. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los Páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Tivet, F., de Moraes Sá, J., Lal, R., Borszowskei, P., Briedis, C., Bürkner dos Santos, J., y otros. (2013). Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma*, 209-210, 214-225
- Villegas, D. C., Pereyra, F. X., & Ferrer, J. (2007). Suelos, factores de formación y procesos pedogenéticos en el centro oeste de la provincia de Santa Cruz. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 62(3), 366–374.
- Wang, S., Wang, X., & Ouyang, Z. (2012). Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 387–395. doi:10.1016/S1001-0742(11)60789-4
- Zehetner, F., Miller, W. P., & West, L. T. (2003). Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1797. doi:10.2136/sssaj2003.1797

# 3. Capítulo 3. Stock de carbono orgánico del suelo de una toposecuencia del páramo de guerrero

## 3.1 Introducción

El suelo desempeña un papel importante en el ciclo del carbono (C), ya que almacena grandes cantidades de C de los ecosistemas terrestres (Tamocai *et al.*, 2009). Sin embargo, los cambios en la cobertura vegetal y manejo del suelo alteran el sistema edáfico ocasionando cambios en la dinámica de almacenaje de C (Schrumpf *et al.*, 2011).

La materia orgánica y el carbono orgánico del suelo (COS), varían dependiendo de las condiciones ambientales y el sistema de manejo que se le dé a este recurso, por ejemplo aumenta con el incremento de la precipitación anual media, con la disminución de la temperatura media, con el contenido de arcilla, con aportes de residuos de cultivos y de vegetación nativa, y con la labranza de conservación en comparación con la labranza convencional (Franzluebbers, 2002)

Saavedra (2005) afirma que una sexta parte de los suelos del mundo se ven afectados por la erosión, proceso que está directamente relacionado con la dinámica del COS, a nivel mundial alrededor de 42 a 78 Gt de C se han perdido debido a las prácticas de manejo del suelo y la erosión del suelo (Lal, 2004).

Los procesos de pérdida y acumulación de carbono orgánico (CO) en el suelo dependen directamente del uso del suelo, material parental, condiciones de drenaje, textura, disponibilidad de nutrientes, prácticas de manejo del suelo, clima y topografía (de Paul Obade & Lal, 2013; Parras-Alcántara *et al.*, 2015). El incremento o disminución en el COS son responsables de la variación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo afectando no sólo la productividad de los cultivos y la fertilidad del suelo (Maia, *et al.*, 2010) sino también el ciclo de C regional y/o global (Post & Kwon, 2000).

A diferencia de los ecosistemas tropicales como bosques o la selva tropical, los páramos almacenan la mayor parte del C en el suelo y no en la vegetación (CODESAN, 2009) esta diferencia se debe a que los páramos tienen bajas tasas de descomposición y reciclaje de nutrientes, y el C acumulado se mineraliza lentamente y pasa a ser parte del humus, almacenando hasta 1700 t de C ha<sup>-1</sup> mientras que los suelos de selva tropical tan solo 50 t de C ha<sup>-1</sup> (García, 2003; Hofstede, 1999).

En Colombia, los suelos de páramo se desarrollaron a través de procesos de alteración física y química (disolución, lixiviación y precipitación de compuestos) de los depósitos de cenizas volcánicas, a partir de los cuales los minerales se transformaron cambiando la forma y el tamaño de las partículas además de su porosidad. Dichos procesos de transformación fueron influenciados principalmente por las condiciones climáticas y tiempo; las primeras determinaban la presencia de fluidos disponibles para las reacciones químicas, la tasa a la cual estas reacciones ocurren, la migración de compuestos, la erosión, entre otros procesos, el tiempo por su parte, gobierna la secuencia para la síntesis de minerales secundarios y la distribución de tamaños de partículas (Chadwick *et al.*, 2003; Lizcano & Herrera, 2006).

Algunos páramos colombianos tienen influencia de cenizas volcánicas y se caracterizan principalmente por su alto contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (Podwojewski & Poulencard, 2006). Los suelos derivados de cenizas volcánicas representan alrededor del 11,6% del territorio nacional, ocupando zonas de ladera principalmente (Hincapié & Tobón, 2012) en donde se favorecen el transporte de materiales y por ende el transporte de COS el cual puede ser enterrado y almacenado en concavidades o puede ser oxidado a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y emitido a la atmósfera (Dean & Gorham, 1998; Stallard, 1998).

La fracción arcilla de estos suelos puede estar dominada por alófana, imogolita y halloysita (minerales amorfos de rango corto o arcillas hidratadas mal cristalizadas), provenientes de la meteorización de los materiales piroclásticos producto de las deposiciones volcánicas, en algunos casos mezcladas con arcillas de las formaciones sedimentarias locales (Espinosa, 2008). Estos minerales forman complejos órgano-minerales, en los cuales el carbono deja de ser parte de la fracción orgánica y queda almacenado, lo que favorece las propiedades físicas y químicas de estos suelos y disminuye el riesgo a la erosión en las zonas con pendientes más pronunciadas (25-75%).

A nivel mundial el impacto de las actividades antropogénicas en la degradación de suelos se estima en aproximadamente 1.094 millones de hectáreas (ha), de las cuales el 43% corresponde a áreas deforestadas o con cambios en la cobertura vegetal, el 29% a áreas con sobre pastoreo, otro 24% atribuido al manejo inadecuado y sobre explotación de tierras agrícolas y por último un 4% por sobreexplotación de recursos naturales (Walling & Fang, 2003).

El cambio en la concentración de COS ocasiona alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo afectando no sólo la productividad de los cultivos y la fertilidad del suelo (Maia *et al.*, 2010) sino también el ciclo de C regional y/o global (Post & Kwon, 2000) y la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del agua y del aire, y apoyar la vida humana (Doran & Zeiss, 2000).

La variación espacial en la calidad del suelo, surge como una relación directamente proporcional entre la concentración de COS y la calidad del suelo (Tan *et al.*, 2007); por lo tanto los procesos de degradación del suelo como erosión, disminución de la estructura del suelo, la acidificación, el desequilibrio elemental, y la salinización están directamente

relacionados con la disminución del COS almacenado (Lal, 2009) y con la pérdida de la calidad del suelo.

Los procesos más importantes que causan pérdidas de COS son la erosión, mineralización de la materia orgánica y lixiviación del C orgánico e inorgánico. La energía cinética de las gotas de lluvia, afectan, junto con la fuerza de la escorrentía, a los agregados de la MOS dispersándolos y exponiéndolos a las fuerzas del agua, el viento y otros procesos pedológicos. La MOS está concentrada en la superficie del suelo y es de baja densidad, por lo que fácilmente es retirado por la escorrentía superficial (Lal, 2003).

Sin embargo, la erosión del suelo puede representar una fuente o sumidero de COS debido a la variabilidad espacial que resulta de la translocación y acumulación de C que se origina a partir del cambio de la estructura del suelo conduciendo a la liberación inmediata de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) alterando directamente el ciclo global del C (Lal, 2003; Quinton *et al.*, 2010).

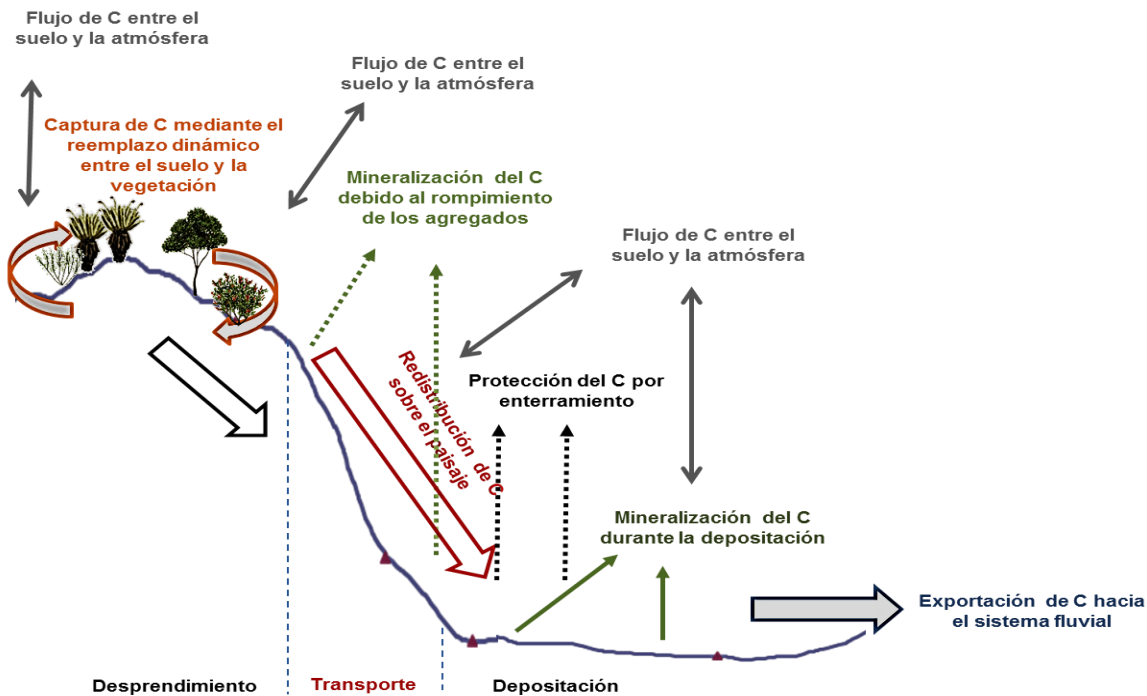
En la Figura 3-1 se muestra cómo actúa el proceso erosivo al interior de la dinámica del COS, el cual consta de tres fases: la movilización o desprendimiento del suelo, el transporte y la depositación, por acción de la fuerza de un fluido en movimiento, como el agua o el viento, lo cual tiene efectos sobre el ciclo global del C (Nadeu, 2015). Cuando se moviliza parte del suelo, la estructura del suelo está al menos parcialmente interrumpida, lo que implica que la movilización de sedimentos podría resultar en un significativo aumento de la tasa de mineralización del COS, lo que podría conducir a la pérdida de más del 20 % del total de COS como CO<sub>2</sub> (Lal, 2003; Quinton *et al.*, 2010).

Durante el transporte ocurre otro proceso adicional de mineralización el cual puede no ser considerado como significativo, ya que es posible que este material vuelva a ser transportado en cuyo caso se estaría erosionando un poco menos del 2,5 % del COS (Hemelryck *et al.*, 2009).

El material desplazado por la erosión es redistribuido y depositado en los sitios más bajos de la cuenca, así el alto contenido de COS en sitios bajos se atribuye a la depositación, con sedimentos enriquecidos por COS, el impacto de la erosión en el desplazamiento de COS puede depender del proceso específico involucrado, por ejemplo, la separación o el depósito (Lal, 2005).

Pese a la existencia de diferentes trabajos relacionados con la degradación de suelos por procesos erosivos en zonas de conservación, las zonas de páramo no cuentan con esta información la cual es necesaria para la toma de decisiones relevantes con respecto a las actividades agrícolas de esta zona y el impacto de las mismas sobre la calidad del suelo.

**Figura 3-1.** Proceso de erosión y dinámica del carbono orgánico del suelo



Modificado de Nadeu (2015).

Doetterl *et al* (2013) afirman que a escala regionales como en el caso de cuencas, los principales controladores de la variabilidad en el contenido de C almacenado en el suelo son: la temperatura edáfica, las prácticas de manejo, el régimen de humedad del suelo, la cobertura vegetal y el uso de la tierra y su composición mineralógica, dejando de lado el efecto de la topografía.

En el contexto del cambio climático global, comprender la variabilidad espacial y temporal del contenido de COS y los flujos laterales inducidos por la erosión en sistemas de alta montaña caracterizados por condiciones ambientales húmedas y frías, son según Wiaux *et al* (2014) características importantes para predecir la estabilidad actual y la futura del COS y la calidad del suelo a partir de este atributo (Franzluebbers, 2002).

Kuhn *et al* (2009), consideran que es necesario emplear el enfoque eco-geomorfológico para comprender el proceso erosivo del COS; en donde se tienen en cuenta las interacciones entre la biosfera, los accidentes geográficos y los procesos geomorfológicos sobre la erosión y el destino del COS en su ruta a través de un sistema de paisaje. Sin embargo, son escasos los trabajos en los cuales se relacionan los datos sobre cambios en los depósitos del COS con el uso de la tierra, la posición topográfica, y algunas propiedades del suelo como la textura y la pedogénesis de los suelos de páramo, permitiendo determinar la capacidad de sumidero de COS de estos suelos y modelar las pérdidas y/o ganancias de carbono orgánico en la toposecuencia, objeto de esta

investigación empleando los suelos de una toposecuencia en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero.

En este contexto, este trabajo busca modelar las pérdidas y/o ganancias de carbono orgánico en los suelos de una toposecuencia en el páramo de Guerrero calificando el riesgo a erosión de estos suelos, para generar escenarios predictivos de almacenamiento de carbono orgánico del suelo con base a las tendencias de cambio de uso de la tierra.

## 3.2 Materiales y Métodos

### 3.2.1 Localización del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la vereda San Antonio del municipio de Tausa en el departamento de Cundinamarca, entre 5°12'48"N 74°00'16"W y 5°11'47"N 74°1'20" W, en la microcuenca del río Guandoque del páramo de Guerrero. La temperatura media multianual de la zona varía entre los 7 y 11 °C y la precipitación promedio multianual fluctúa entre 800 y 1.100 mm (Morales *et al.*, 2007). Su material litológico proviene de las formaciones Conejo, Guaduas, Grupo Guadalupe y depósitos fluvioglaciares con influencia de cenizas volcánicas.

Los suelos de esta zona, taxonómicamente están clasificados en su mayoría como Andisoles y se caracterizan por ser profundos, oscuros, ácidos y moderadamente ácidos, con baja CIC promedio, alto contenido de MO, CO y N, una relación C/N moderada, desaturados y con baja densidad aparente ( $<0,90 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), con texturas que varían conforme aumenta la profundidad, iniciando con la familia textural franca gruesa, luego franca fina y por último muy fina.

### 3.2.2 Stock de Carbono Orgánico del Suelo

La estimación del COS se realizó en una toposecuencia conformada por diez perfiles, recorriendo una distancia lineal de 4,8 km, en un rango altitudinal entre 3.369 m - 3.630 m, que incluye cuatro coberturas vegetales papa (*Solanum tuberosum*), pastura (*Pennisetum clandestinum*), vegetación de páramo y bosque de encenillo. En cada perfil se realizó un muestreo cada diez centímetros hasta un metro de profundidad, se colectaron muestras sin disturbar en cilindros de diámetro y altura conocidos, en laboratorio se determinaron densidad aparente y COS.

Luego de colectadas las muestras, se identificaron y secaron a temperatura ambiente, se molieron y pasaron por tamiz (malla de 2 mm), se separaron y pesaron los fragmentos de roca por muestra. Posteriormente en el laboratorio de suelos se tomaron 0,05 g de cada muestra y secaron nuevamente a 105°C para extraer la humedad remanente, y determinar el contenido de carbono total (CT) mediante combustión seca en un analizador elemental Leco CNS.



Con los valores de CT se estimó el Stock de COS empleando la fórmula propuesta por Goidts *et al* (2009) expuesta en la ecuación 3-1:

$$\text{Ecuación 3-1} \quad \text{Stock COS} = \frac{d \cdot CT \cdot \rho \cdot [1 - RM]}{100}$$

El Stock COS se da en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $d$  es el espesor de la capa de suelo en metros,  $CT$  es la concentración de COS en  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $\rho$  es la densidad aparente del suelo en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  que ha sido calculada por el método del cilindro a cada profundidad y  $RM$  es la proporción en masa del fragmento de roca de la muestra de suelo.

### 3.2.3 Relación de estratificación del COS

La relación de estratificación (RE) es un indicador de la calidad del suelo que se basa en comparar el espesor de la capa superficial con una alta influencia de acción antropogénica, con las capas subsuperficiales suprayacentes de menor impacto, para esto es necesario dividir la concentración de carbono orgánico total (COT) de 0-10 cm entre la COT de 10-20 cm y de 20-30 cm (Ecuación 3-2).

$$\text{Ecuación 3-2} \quad RE_1 = \frac{COT_{0-10 \text{ cm}}}{COT_{10-20 \text{ cm}}} \quad \text{y} \quad RE_2 = \frac{COT_{0-10 \text{ cm}}}{COT_{20-30 \text{ cm}}}$$

Franzluebbers (2002), plantea que el grado de estratificación de COS se puede utilizar como un indicador de la calidad del suelo, ya que relaciona el CO y la MO, los cuales son atributos esenciales para algunas funciones y propiedades del suelo, por ejemplo la infiltración del agua, para el control de la erosión y la conservación de los nutrientes.

### 3.2.4 COS asociado a la fracción arcilla

Se realizó una caracterización en campo de los diez perfiles de la toposecuencia, tomando 1 Kg de muestra disturbada de suelo para cada horizonte, las cuales fueron adecuadamente identificadas, secadas a temperatura ambiente, molidas y tamizadas por una malla de 2 mm, para ser procesadas en los laboratorios de suelos de la Universidad Nacional de Colombia y del Instituto Geográfico Agustín Codazzi empleando IGAC (2006).

Se determinó el contenido de COS por el método de Walkley Black (1934), y se realizó la clasificación textural por el método de la pipeta empleando las metodologías consignadas en el libro "Métodos analíticos del laboratorio de suelos" del IGAC (2006). El análisis mineralógico se realizó por difracción de rayos x (DRX) empleando la metodología de Thorez que incluye el análisis de la fracción arcilla en lámina orientada en estado natural (N); saturación con etilen-glicol (EG) y calcinación a  $550^\circ\text{C}$  (Besoain, 1985).

### 3.2.5 Erosión

Los procesos erosivos inducen la movilización del COS a través de una redistribución superficial conocida como flujo lateral de carbono (C) y flujos verticales de C que incluyen el intercambio de C entre la atmósfera y el suelo a través de procesos de mineralización y almacenaje de C (Nadeu *et al.*, 2013). En zonas de ladera, dependiendo de la asociación existente entre las características geomorfológicas de la zona y los procesos pedogenéticos pueden darse procesos de acumulación o pérdida de C (Wiaux *et al.*, 2014).

En zonas con pendientes pronunciadas, los procesos de erosión y deposición favorecen temporal y espacialmente los patrones de cambio en la dinámica de las reservas de C y por ende alteran la calidad del suelo; demostrando que la topografía es un factor clave en el control de los procesos erosivos, y en la distribución vertical y espacial del COS (Doetterl *et al.*, 2013).

La combinación de flujos laterales y verticales de C, inducidos por la erosión, tiene un impacto significativo en el ciclo biogeoquímico del C, como resultado de la interacción de varios procesos que aceleran o ralentizan la descomposición del C que es movilizado (Nadeu *et al.*, 2013).

Se identificaron los principales factores necesarios para plantear un modelo cualitativo de riesgo a erosión de esta zona, en el cual se modifica la forma en que se calculan algunos parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) (Ecuación 3-3):

#### Ecuación 3-3

$$E = R * K * LS * C * P$$

Donde E es el riesgo a erosión, R equivale al efecto del clima que en este caso únicamente incluye el efecto por precipitaciones ya que las estaciones cercanas no proporcionan información referente a temperatura ni humedad, k representa el factor de erodabilidad del suelo que fue extraído a partir de nomogramas considerando la clasificación textural de las diferentes unidades de suelos presentes en la microcuenca; LS se refiere al efecto de la longitud y el grado de la pendiente el cual fue extraído a partir del MDE de la zona empleando software SAGA 2.1.2 (System for Automated Geoscientific Analyses; University of Gottingen, Germany); C representa el efecto de la cobertura y P, el de las prácticas de manejo y conservación.

Al agrupar todos los factores se realiza la matriz de clasificación que incluye los cinco factores y se procedió a desarrollar el modelo, incorporando dicha matriz al Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc Gis 10.1, para obtener el mapa de clasificación del riesgo a erosión de esta microcuenca.

Con esta información se realizó el análisis relacionado con la pérdida y/o acumulación del carbono orgánico en esta zona, usando como información de referencia los análisis físicos y químicos de la toposecuencia (Anexo A).

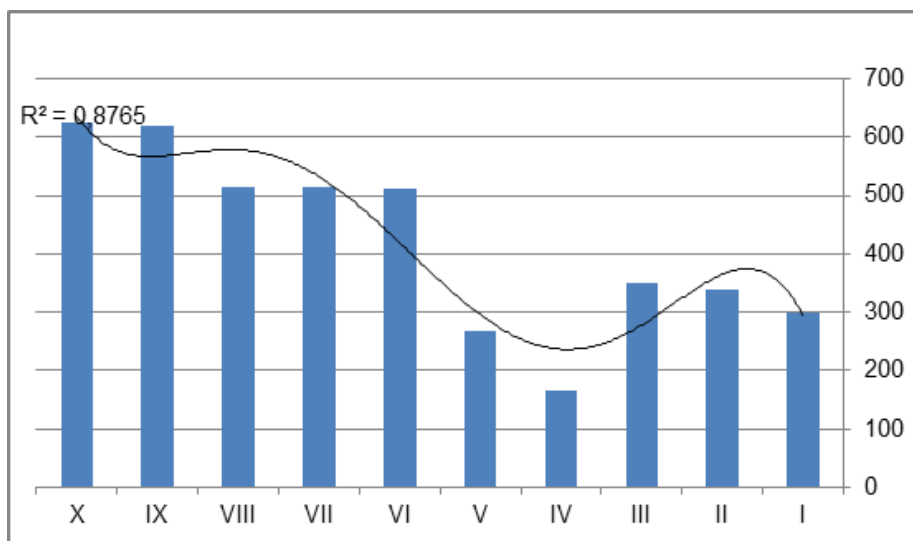
### 3.3 Resultados y discusión

#### 3.3.1 Stock de COS en la toposecuencia

El Stock de COS de los perfiles analizados oscila entre 165,1 y 624,1 t\*ha<sup>-1</sup> (Figura 3-2 y Anexo B) con un comportamiento fluctuante a lo largo de la toposecuencia. En un primer tramo conformado por los perfiles del I al V, el perfil III muestra el stock de C más alto (350,6 t C\*ha<sup>-1</sup>) (Figura 3-3) donde la curvatura del relieve (C<sub>v</sub>) plana favorece la deposición de material transportado por acción del agua en el sentido de su curvatura del plano horizontal (C<sub>h</sub>) cóncava, permitiendo el desarrollo de horizontes y perfiles profundos (Yoo *et al.*, 2006). El perfil II acumula 339,3 t C\*ha<sup>-1</sup>, comportamiento que se relaciona con las curvaturas C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> planas, donde se da una acumulación de materiales transportados desde el perfil I fomentado por el patrón de distribución hídrica de la zona, que para estos dos perfiles (I y II) está directamente influenciada por condiciones hidromórficas.

Pese a que las curvaturas C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> del perfil I son planas y que la pendiente de esta zona es ligeramente ondulada (3-7%), se observa una disminución en la cantidad de COS (297,7 t C\*ha<sup>-1</sup>) con respecto a las demás zonas, influenciado por la altitud (>3600 m.s.n.m.), la temperatura (≤7°C) y a las condiciones de alta humedad que retrasan los procesos de descomposición de materia orgánica. Por último, en este tramo los perfiles V (267,66 t C\*ha<sup>-1</sup>) y IV (165,14 t C\*ha<sup>-1</sup>) están directamente influenciados por la pendiente ligeramente escarpada (25-50%), el primero presenta curvatura C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> cóncavas lo que indica que recibe material proveniente de las zonas cercanas al perfil IV, mientras que el perfil V se ve directamente influenciado por la curvatura C<sub>h</sub> la cual favorece el transporte de materiales en sentido perpendicular a la pendiente, lo que se evidencia en los horizontes poco profundos, con contacto paralítico a menos de 50 cm de profundidad y presencia de afloramientos rocosos cercanos a esta zona.

**Figura 3-2.** Stock de carbono (t\*ha<sup>-1</sup>) en la toposecuencia de la microcuena del río Guandoque, Tausa, Cundinamarca



Al considerar el tipo de material parental de estos suelos, la influencia de cenizas volcánicas en esta zona y la altitud; se puede inferir que los altos contenidos de COS están asociados a la formación de complejos órgano-minerales, por medio de los cuales se estabiliza y protege la MO, como lo exponen Krull *et al* (2001) y Zehetner *et al* (2003).

Adicionalmente la baja temperatura, la alta humedad, la altitud y la cobertura vegetal, favorecen los procesos humificación, andolización y melanización, que se ven reflejados principalmente en los colores oscuros de los horizontes A (Anexo A), el alto contenido de MO y en la profundidad de los mismos (Villegas *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2012), comportamiento similar al reportado por Ruiz Sinoga *et al.* (2012).

Con respecto al segundo tramo comprendido entre los perfiles VI al X, se observa que en zonas en recuperación o en descanso se almacena los valores más altos de COS iniciando con el perfil VII que corresponde a una zona en recuperación cuya vegetación actual es pastura y que almacena 514,2 t C\*ha<sup>-1</sup>, sin embargo esta zona cuenta con curvaturas C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> convexas, que favorecen los procesos de pérdida de material debido a sus pendientes pronunciadas.

El perfil X almacena 624,1 t C\*ha<sup>-1</sup>, otra zona que ha permanecido en descanso, es usada esporádicamente para el pastoreo de algunos animales ovinos y bovinos, y está directamente influenciado por sus C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> planas, que favorecen la acumulación de materiales pese a presentar una pendiente ligeramente escarpada. Este perfil junto con el perfil IX que almacena 618,2 t C\*ha<sup>-1</sup> muestran efectos negativos por acción de la labranza empleada años atrás, que son evidentes en los 20 y los 40 cm superficiales, donde disminución llega al 40% de C, respecto de los 10 cm superficiales. A pesar de tener la capacidad de acumular material edáfico gracias al efecto de la C<sub>v</sub> cóncava, esta zona también es propensa a transportar materiales debido a su C<sub>h</sub> convexa que favorece en este caso el flujo del agua.

En lo que respecta a la zona de bosque (perfil VIII), este perfil almacena 514,8 t C\*ha<sup>-1</sup>, de las cuales 360,1 t C\*ha<sup>-1</sup> se encuentran en el horizonte A, acumulación que se ve favorecida por la vegetación y uso actual, la pendiente fuertemente ondulada, y las curvaturas C<sub>h</sub> cóncava y C<sub>v</sub> plana. Por último el perfil VI, zona actualmente empleada para labores agrícolas específicamente para el cultivo de papa rotado con pastura, almacena 510,6 t C\*ha<sup>-1</sup>, en donde la pendiente ligeramente ondulada y sus C<sub>h</sub> y C<sub>v</sub> planas favorecen la acumulación de materiales, pero la cobertura vegetal y la acción antrópica generan un efecto negativo sobre esta zona.

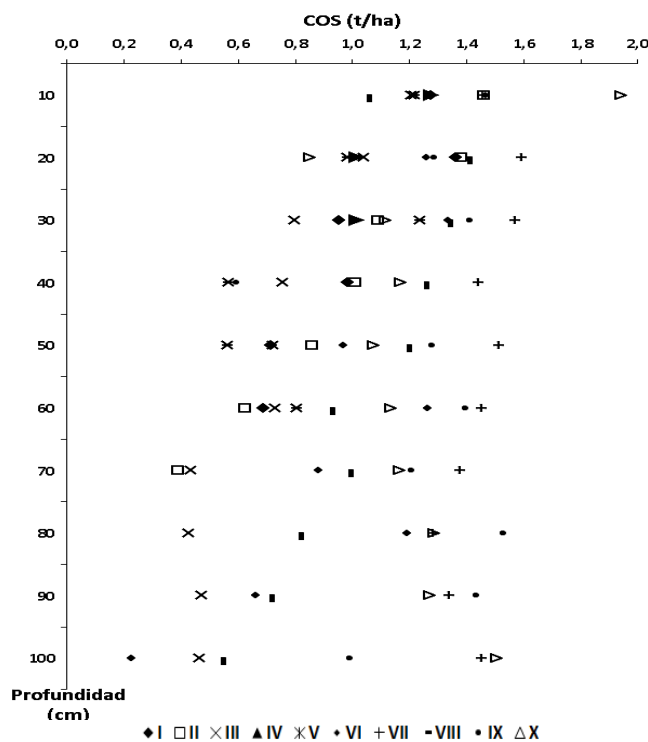
Los valores de COS a lo largo de la toposecuencia son inferiores a los reportados por Podwojewski & Poulénard (2006) para andisoles poligenéticos maduros no alofánicos del norte de Ecuador (850 t ha<sup>-1</sup>), ellos de manera similar a Griffiths *et al* (2009) y Jeyanny *et al* (2014), expusieron una relación directa entre el COS y la altitud; sin embargo en estos suelos la altitud no parece influir de manera directa sobre la dinámica del COS. Lo que sí es evidente es la relación directa que existe entre la posición topográfica y el stock de COS, los perfiles III, VII y X ubicados en la base de la pendiente y en la parte inferior de la pendiente respectivamente y en zonas con pendientes entre 25 y 50%, pueden ser considerados como

puntos de acumulación a lo largo de la toposecuencia, permitiendo afirmar que estas dos características favorecen la acumulación de COS tal como lo propuso (Nail, 2009).

A lo largo de la catena se observan diferencias entre 10 y 60% del Stock de COS, comportamiento asociado principalmente a la acción del clima y la topografía, que ejercen un efecto positivo en la redistribución del C en los perfiles III, VI y X donde se ven favorecidos los procesos de depositación de material erodado; y negativo para los perfiles IV y VIII en los cuales las características topográficas favorecen la erosión y remoción de materiales, lo que implica una posible disminución en la calidad del suelo en las zonas con curvaturas  $C_h$  y  $C_v$  convexas, acorde con lo expuesto por Doetterl *et al* (2013).

En cuanto a la distribución vertical del COS hay una correlación negativa, indicando que existe una relación inversa entre la profundidad y el COS almacenado (Figura 3-2; Figura 3-3 y Figura 3-4), comportamiento similar al reportado por (Zhang *et al.*, 2015). Adicionalmente, entre el 31 y 64% del stock de COS se encuentra en los primeros 30 cm del suelo, y la cantidad de COS disminuye conforme aumenta la profundidad, valores similares a los reportados por Etchevers *et al* (2007).

**Figura 3-3.** Distribución vertical del COS



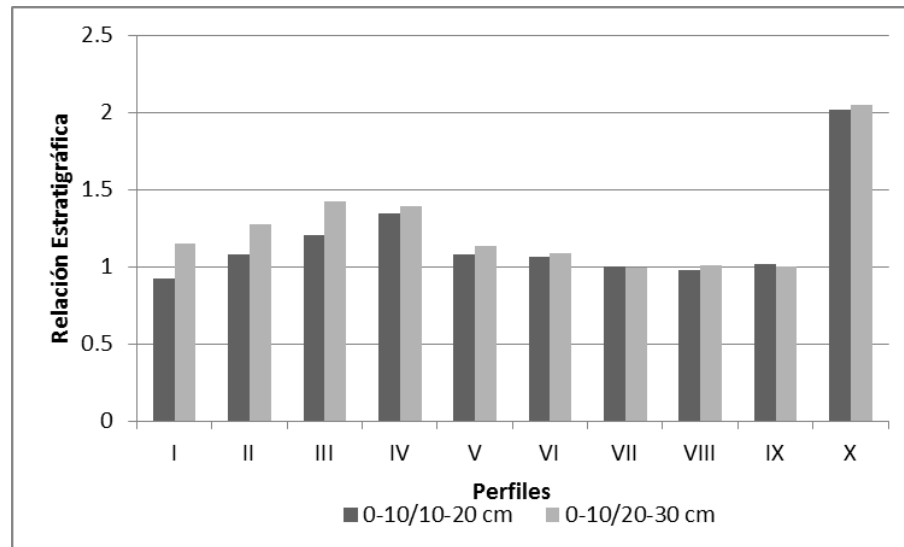
### 3.3.2 Estratificación de carbono orgánico

La relación estratigráfica ( $RE_1$ ) 0-10/10-20 cm oscila en el rango entre 0.92 y 2.02 y la  $RE_2$  0-10/20-30 cm entre 0.89 y 2.05 (Figura 3-5), valores por debajo de lo que recomiendan

Duval *et al* (2014) y Franzluebbbers (2002) para suelos tropicales (>2), lo que demuestra que las prácticas actuales no favorecen la conservación de la calidad de estos suelos.

Semejante a lo reportado por Sá y Lal (2009), se evidencia una relación entre RE (0-10/10-20 cm) stock de C en la capa de 0-10 cm, lo que sugiere que ambos procesos se producen simultáneamente y por lo tanto podrían ser el RE utilizado como indicador de la captura de carbono en estos suelos.

**Figura 3-4.** Relación de estratificación de COT



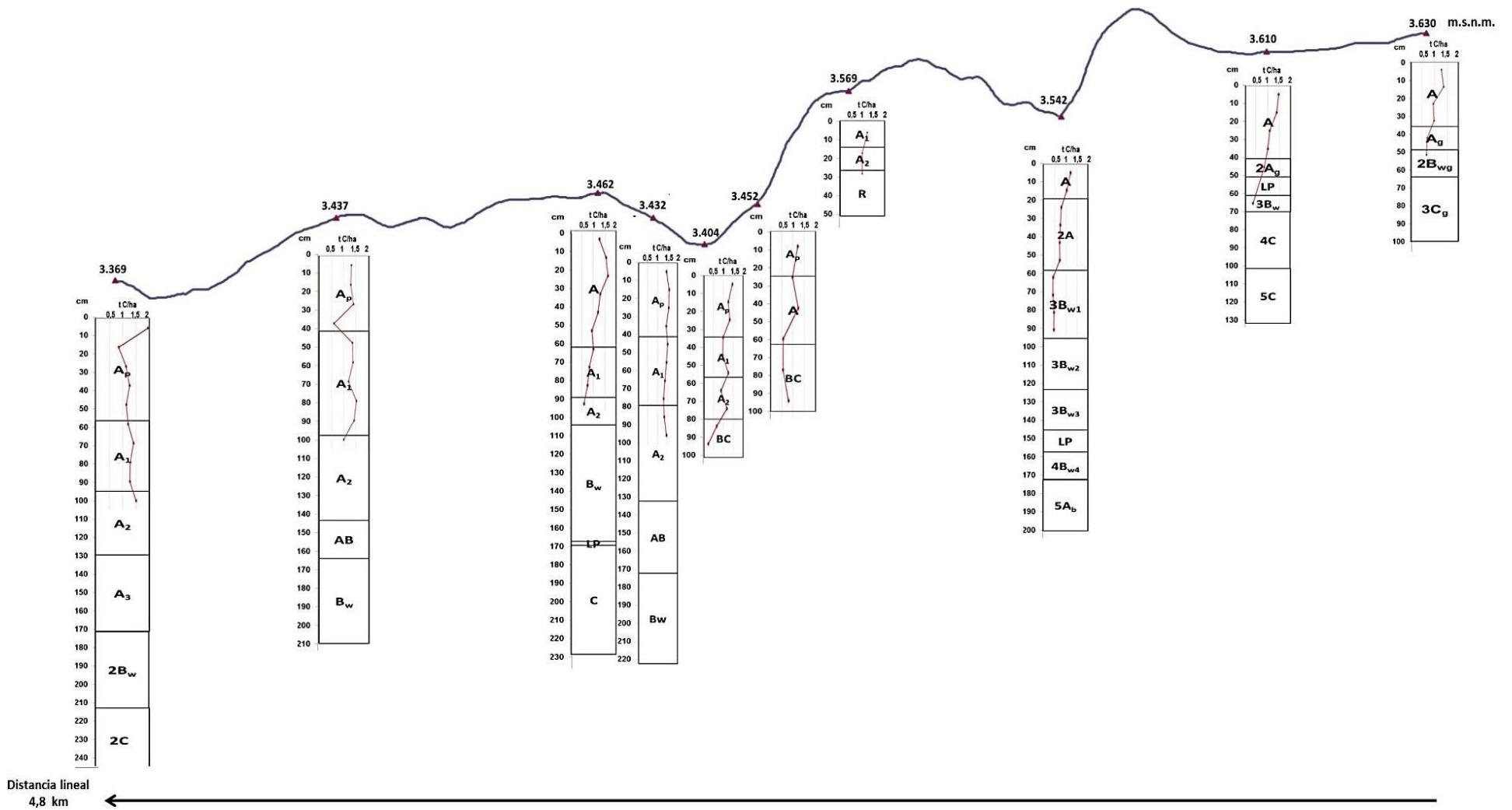
Por lo general, la primera capa superficial del suelo, está fuertemente influenciada por el manejo (labranza, sistemas de cultivo, fertilización), mientras que la segunda se ve menos afectada por las prácticas de manejo (Franzluebbbers, 2002)

De manera general, todos los perfiles a excepción del perfil IX muestran una menor relación estratigráfica entre 0-10 y 10-20 cm y una mayor relación entre 0-10/20.30 cm, lo que muestra el efecto antrópico sobre la pérdida de la calidad de estos suelos. Es por esto que la mayoría de los perfiles donde hay actividad agrícola y pecuaria se muestran RE cercanas a 1. Sin embargo estos valores de RE<sub>1</sub> y RE<sub>2</sub> no son tan bajos como los reportados por otros autores, según Djukic *et al* (2010) y Franzluebbbers (2002) esto se debe a que estos suelos tienen un alto contenido natural de MO y de CO.

### 3.3.3 COS asociado a la fracción arcilla

Se evidencia una relación inversa entre la profundidad y el contenido de COS, resultado similar al reportado por Ezeaku & Eze (2014) y Parras *et al* (2015), quienes afirman que este comportamiento está vinculado con el contenido de grava y los cambios en la densidad aparente a través del perfil, que en este caso muestran relación directa con la profundidad.

Figura 3-5. Distribución vertical del COS ( $t^*ha^{-1}$ ) hasta un metro de profundidad, a lo largo de la toposecuencia



Los perfiles están ubicados de derecha a izquierda en orden desde el I hasta el X

Sin embargo, no puede olvidarse que, la textura del suelo influye en el almacenaje de COS, y en este caso las partículas tamaño limo pueden estar asociadas en los microagregados con la materia orgánica del suelo (MOS), protegiendo así el COS de la descomposición y mineralización (Zinn & Lal, 2005; Danfeng & Ming'an, 2014).

Se esperaría que a lo largo de la toposecuencia hubiera una correlación entre el contenido de arcilla y el COS. Sin embargo, aquí se observa que, horizontes con alto contenido de arcilla pueden contener poco CO (perfiles I y II), contradiciendo lo propuesto por Andriulo *et al* (2012), quienes afirman que existe una relación directamente proporcional entre el contenido de arcilla y el contenido de CO, y que los suelos más arcillosos, en clima frío y húmedo almacenan más COS. En el perfil III el contenido de CO y el % de arcilla decrecen con la profundidad, sin embargo en los demás perfiles no se aprecia un patrón definido. McLauchlan *et al* (2006); Nave *et al* (2013); Percival *et al.* (2000), tampoco encontraron correlación entre estas dos variables en tierras forestales, praderas de Nueva Zelanda o en un ecosistema de pradera restaurada en Minnesota respectivamente.

Con respecto a los minerales predominantes en la fracción arcilla de estos suelos, los difractogramas (Anexo A-Difractogramas) revelan la predominancia de la caolinita (K) identificada en las muestras en estado natural (N) y en el tratamiento con etilenglicol (EG) por los planos (001) y (002); seguida por cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), minerales que no se modifican bajo ninguno de los tratamientos lo que permite su identificación en los tres difractogramas y en los planos (001) y (002), vermiculita (V) identificada por el cambio al comparar los tratamientos N y EG con el de calcinación (550°C), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm). Al revisar la clasificación litológica y estratigráfica del área de estudio, se confirma que los minerales identificados concuerdan con los que exponen Montoya & Reyes (2003) para las formaciones Guaduas, Conejo y Grupo Guadalupe. Minerales similares fueron reportados por Bonilla *et al* (2011) en la Formación Guaduas.

En cuanto a los materiales amorfos, se identificaron en estas muestras halloysita (H) e imogolita (Im), sin embargo los picos de estos materiales no son tan claros y pronunciados como los de otros minerales, lo cual dificultó su identificación, sobre todo en horizontes superficiales, en los cuales los picos más intensos correspondían principalmente a K y Q.

La presencia de arcillas con área superficial específica alta como la esmectita y la illita, favorecen la acumulación de COS (Krull *et al.*, 2001), ya facilitan la formación de macro y, microagregados (O'Brien *et al.*, 2015).

### **3.3.4 Pérdida y ganancia de COS basado en el riesgo a erosión de la microcuenca**

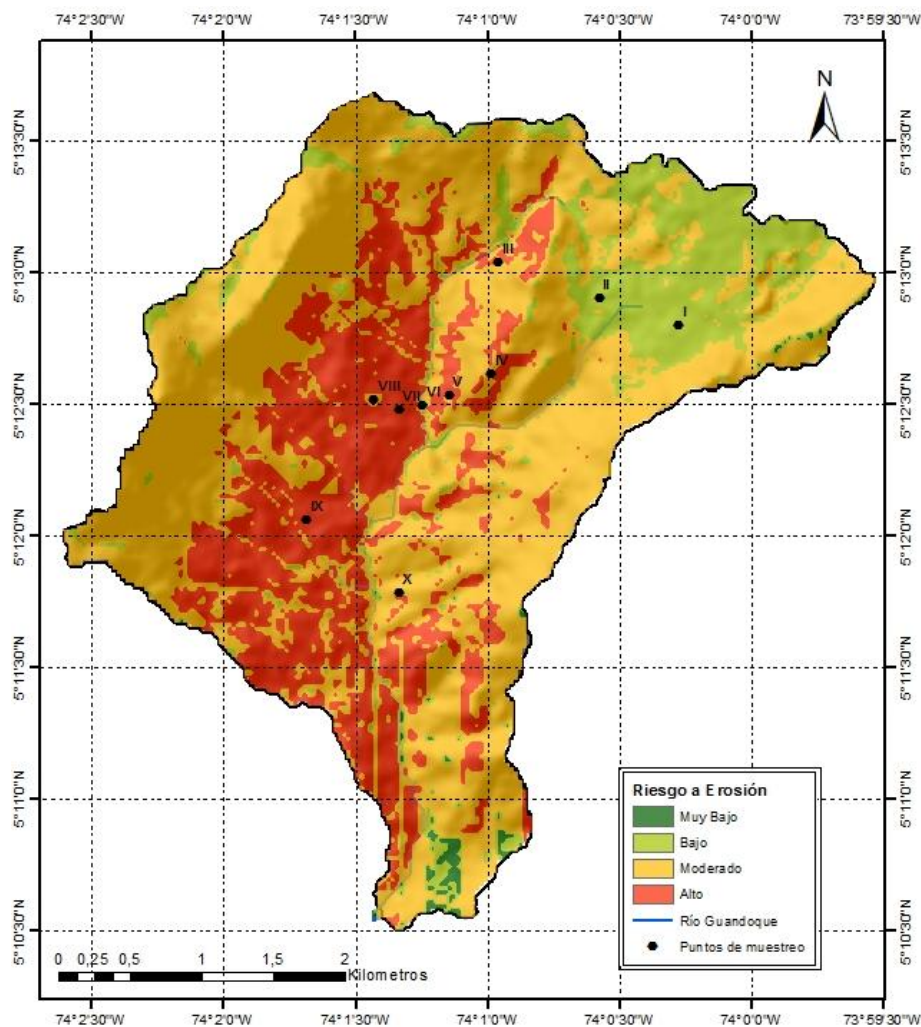
En esta microcuenca el 60% del área total está clasificado con un riesgo moderado a la erosión, seguido por un 26,4% de alto riesgo, un 13% de bajo riesgo y casi el 1% muy bajo (Figura 3-6). En las zonas aledañas al flujo del río Guandoque se observa una



concentración de zonas de riesgo a erosión alto, en este caso coincide con las zonas donde más actividad agrícola existe actualmente.

Los procesos erosivos pueden generar una reconfiguración de las asociaciones órgano-minerales, influyendo en la distribución del COS almacenado a lo largo de una ladera (Berhe et al., 2012), por esto se espera que al ampliar las áreas de suelo desnudo y aumentar el uso de maquinaria para labranza, también se incremente la cantidad de COS que es transportado desde las zonas con pendientes más pronunciadas hacia zonas planas y cóncavas, en donde se podrá almacenar una parte, pero otra se perderá durante los procesos de transporte y depositación y será liberado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, sin embargo es difícil estimar la tasa de sustitución del COS erosionado puesto que no hay una distribución equitativa (Nadeu *et al.*, 2012)

**Figura 3-6** Mapa de clasificación de riesgo a erosión de la microcuenca del río Guandoque a 2013



En esta zona el COS y el contenido de materia orgánica no son un limitante, puesto que estos suelos tienen un alto contenido en los horizontes superficiales (11-26% CO). El factor

más limitante en este caso es la pendiente, ya que al formar parte de la cordillera oriental colombiana, esta microcuenca tiene zonas con pendientes muy pronunciadas, en donde no deben llevarse a cabo labores agropecuarias ya que esto potencializa la pérdida de suelo y a su vez la pérdida de calidad del mismo.

A través de la toposecuencia se puede confirmar que el COS depositado en laderas y sitios coluviales puede ser almacenado y preservado no solo al quedar enterrado en las partes planas y cóncavas, sino además en este caso por los procesos de agregación que se favorecen por las condiciones climáticas aquí imperantes.

Arbelo *et al* (2003) afirman que los andisoles muestran una alta resistencia a la erosión hídrica, característica directamente relacionada con su alto contenido de materia orgánica, la cual ha sido estabilizada gracias a la presencia de minerales como la imogolita y halloysita en los diez perfiles de la catena (Anexo A-Difractogramas), que le permiten formar complejos aluminio-humus, es por esto que a pesar de tener altos contenidos de arcilla, estos suelos no tienen un alto riesgo erosivo.

La Tabla 3-1 muestra de descripción de las características recopiladas para realizar esta clasificación.

**Tabla 3-1.** Clasificación del riesgo a erosión de la microcuenca del río Guandoque

Clase	Riesgo	Características
1	Muy Bajo	Zonas con pendientes entre 0-7%, planiformes o depositacionales, con uso de conservación y coberturas de Bosque Denso, suelos con textura Arcillo limosa
2	Bajo	Zonas con pendientes entre 7 y 25%, ligeramente inclinado u ondulado, con uso de conservación y coberturas de Bosque plantado, Bosque de galería y herbazal denso. Suelos con textura franco arcillosa
3	Moderado	Zonas con pendientes entre 25 y 50%, con uso de conservación y coberturas de arbustales densos, Bosque fragmentado o zonas de explotación minera. Suelos con textura Franco Arcillo limosa
4	Alto	Zonas con pendientes entre 50 y 75%, con coberturas de pastos limpios, con alta actividad agrícola. Suelos con textura Franco arenosa
5	Muy alto	Zonas con pendientes mayores al 75%, con coberturas de cultivo como papa, con alta actividad agrícola, suelos con textura Arenosa

### 3.4 Conclusiones

La acumulación del COS está directamente relacionada a las condiciones climáticas y topográficas.

La relación existente entre la distribución vertical de COS y la profundidad del perfil, es inversamente proporcional.

La intervención antrópica en suelos con relaciones estratigráficas menor a 2 es un indicador de la pérdida de calidad del suelo.

En estos suelos no existe una relación directa entre el contenido de arcilla y el contenido de carbono orgánico del suelo, sin embargo las condiciones climáticas y topográficas favorecen los procesos de humificación y melanización, permitiendo que la materia orgánica se estabilice y forme complejos que permitan la protección del carbono orgánico.

La presencia de minerales amorfos y arcillas como la illita, clorita y vermiculita favorecen la formación de agregados y la estabilización del carbono en estos suelos.

El proceso erosivo contribuye activamente en la dinámica del carbono orgánico del suelo y está directamente relacionado con la cobertura y uso de la tierra y con las características topográficas y climáticas de estos suelos.

### 3.5 Referencias

- Andriulo, A., Galantini, J., Studdert, G., Sasal, M., Wilson, M., Basanta, M Restovich, S. (2012). Existencias de carbono orgánico edáfico bajo diferentes usos y tipos de suelo. In XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO (p. 5). Mar del Plata.
- Arbelo, C. D., Mora, J. L., Guerra, J. A., & Armas, C. M. (2003). Pérdidas de carbono orgánico por erosión en andosoles forestales de las islas canarias. *Edafología*, 10(2), 221–227.
- Berhe, A.A., Harden, J.W., Torn, M.S., Kleber, M., Burton, S.D., Harte, J., 2012. Persistence of soil organicmatter in eroding versus depositional landform positions. *J. Geophys. Res.* 117, G02019.
- Besoain, E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos. (IICA, Ed.). IICA. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02704a&AN=unc.000741390&lang=es&site=eds-live>
- Bonilla, G., Sarmiento, G., & Gaviria, S. (2011). Proveniencia y transformación diagenética de minerales arcillosos del Maastrichtiano - Paleoceno al norte de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia Provenance and diagenetic transformation of Maastrichtian - Paleocene Clay Minerals in the north of Bogot. *Geología Colombiana*, 36(1), 179–195.
- Bottner, P., Pansu, M., Sarmiento, L., Hervé, D., Callisaya-Bautista, R., & Metselaar, K. (2006). Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using <sup>14</sup>C- and <sup>15</sup>N-labelled plant material. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2162–2177. doi:10.1016/j.soilbio.2006.01.029
- Buytaert, W., Sevink, J., De Leeuw, B., & Deckers, J. (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, 127(1-2), 114–129. doi:10.1016/j.geoderma.2004.11.021
- Chadwick, O. a., Gavenda, R. T., Kelly, E. F., Ziegler, K., Olson, C. G., Crawford Elliott, W., & Hendricks, D. M. (2003). The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils. *Chemical Geology*, 202(3-4), 195–223. doi:10.1016/j.chemgeo.2002.09.001
- CODESAN. (2009). Taller Regional – Cuantificación y estimación de los stocks de Carbono en ecosistemas de alta montaña. Lima.

- Danfeng, L., & Ming'an, S. (2014). Soil organic carbon and influencing factors in different landscapes in an arid region of northwestern China. *Catena*, 116, 95-104.
- de Paul Obade, V., & Lal, R. (2013). Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS). *Catena*, 104, 77–92. doi:10.1016/j.catena.2012.10.014
- Dean, W. E., & Gorham, E. (1998). Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands. *Geology*, 26(6), 535–538. doi:10.1130/0091-7613(1998)026<0535:MASOCB>2.3.CO
- Djukic, I., Zehetner, F., Tatzber, M., & Gerzabek, M. H. (2010). Soil organic-matter stocks and characteristics along an Alpine elevation gradient. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(1), 30–38. doi:10.1002/jpln.200900027
- Doetterl, S., Stevens, A., van Oost, K., Quine, T. a., & van Wesemael, B. (2013). Spatially-explicit regional-scale prediction of soil organic carbon stocks in cropland using environmental variables and mixed model approaches. *Geoderma*, 204-205, 31–42. doi:10.1016/j.geoderma.2013.04.007
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. doi:10.1016/S0929-1393(00)00067-6
- Duval, M., López, F., Martínez, J. M., Iglesias, J., Galantini, J., & Wall, L. (2014). Evaluación de la calidad de suelos agrícolas por medio de índices. *Boletín CERZOS*, 25, 26–35.
- Espinosa, J. (2008). Distribución, uso y manejo de los suelos de la región andina. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo (p. 10).
- Etchevers, J., Gómez, J., Monterroso, A., & Tinoco, J. (2007). Formulación de indicadores para evaluar y monitorear la desertificación en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; Colegio de Postgraduados Universidad Autónoma Chapingo.
- Ezeaku, P. I., & Eze, F. U. (2014). Effect of land use in relation to slope position on soil properties in a semi-humid Nsukka area, Southeastern Nigeria. *Journal Agricultural Research*, 52(8), 369–381.
- Franzluebbers, a. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95–106. doi:10.1016/S0167-1987(02)00018-1
- García, J. (2003). Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de Chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio. Pontificia Universidad Javeriana.
- Goidts, E., van Wesemael, B., & Crucifix, M. (2009). Magnitude and sources of uncertainties in soil organic carbon (SOC) stock assessments at various scales. *European Journal of Soil Science*, 60(5), 723–739. doi:10.1111/j.1365-2389.2009.01157.x
- Griffiths, R. P., Madritch, M. D., & Swanson, a. K. (2009). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management*, 257(1), 1–7. doi:10.1016/j.foreco.2008.08.010
- Hemelryck, H. Van, Fiener, P., Oost, K. Van, & Govers, G. (2009). The effect of soil

- redistribution on soil organic carbon : an experimental study, 5031–5071.
- Hincapie, E., & Tobón, M. (2012). Dinámica del agua en Andisoles bajo condiciones de ladera. *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 65(2), 6765–6777.
- Hofstede, R. (1999). El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. In *El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico* (pp. 7–8). Quito.
- IGAC. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá D.C.: IGAC.
- Jeyanny, V., Rasidah, K. W., Kumar, B. S., Arifin, A., & Hisham, M. K. (2014). CARBON STOCKS IN DIFFERENT CARBON POOLS OF A TROPICAL LOWLAND FOREST AND A MONTANE FOREST WITH VARYING TOPOGRAPHY, 26(4), 560–571.
- Krull, E., Baldock, J., & Skjemstad, J. (2001). Soil Texture Effects on Decomposition and Soil Carbon Storage. *Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, Net Ecosystem Exchange Workshop Proceedings*, 103–110.
- Kuhn, N. J., Hoffmann, T., Schwanghart, W., & Dotterweich, M. (2009). Letters to ESEX Agricultural soil erosion and global carbon cycle : controversy over ?, 1038(March), 1033–1038. doi:10.1002/esp
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437–50. doi:10.1016/S0160-4120(02)00192-7
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1–22. doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- Lal, R. (2005). Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, 81(2), 137–142. doi:10.1016/j.still.2004.09.002
- Lal, R. (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 60(2), 158–169. doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x
- Lizcano, A., & Herrera, M. C. (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia 1, 6(2), 167–198.
- Maia, S. M. F., Ogle, S. M., Cerri, C. C., & Cerri, C. E. P. (2010). Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 177–184. doi:10.1016/j.still.2009.12.005
- McLauchlan, K. K., Hobbie, S. E., & Post, W. M. (2006). Conversion from agriculture to grassland builds soil organic matter on decadal timescales. *Ecological Applications*, 16(1), 143–153. doi:10.1890/04-1650
- Montoya, D., & Reyes, G. (2003). Geología de la plancha 209 zipaquirá.
- Morales, M., Otero, J., & Van der Hammen, T. (2007). Complejo Guerrero. In *Atlas de páramos de Colombia* (p. 83:85). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Nadeu, E., Berhe, a. a., de Vente, J., & Boix-Fayos, C. (2012). Erosion, deposition and replacement of soil organic carbon in Mediterranean catchments: a geomorphological, isotopic and land use change approach. *Biogeosciences*, 9(3), 1099–1111. doi:10.5194/bg-9-1099-2012
- Nadeu, E., Oost, K. V. A. N., & Vente, J. D. E. (2013). Calibración y aplicación de un modelo de erosión y dinámica del carbono (SPEROS-C ), 39(2), 225–242.

- Nadeu, E., Quiñonero-Rubio, J. M., de Vente, J., & Boix-Fayos, C. (2015). The influence of catchment morphology, lithology and land use on soil organic carbon export in a Mediterranean mountain region. *Catena*, 126, 117–125. doi:10.1016/j.catena.2014.11.006
- Nail, R. (2009). Organic carbon content in surface and subsurface soil on a toposequence on the Peterson Ranch in Poly Canyon, San Luis Obispo. California Polytechnic State University. Retrieved from <http://digitalcommons.calpoly.edu/erscsp/1>
- Nave, L. E., Swanston, C. W., Mishra, U., & Nadelhoffer, K. J. (2013). Afforestation Effects on Soil Carbon Storage in the United States: A Synthesis. *Soil Science Society of America Journal*, 77(3), 1035. doi:10.2136/sssaj2012.0236
- O'Brien, S. L., Jastrow, J. D., Grimley, D. a., & Gonzalez-Meler, M. A. (2015). Edaphic controls on soil organic carbon stocks in restored grasslands. *Geoderma*, 251-252(9), 117–123. doi:10.1016/j.geoderma.2015.03.023
- Parras, L., Lozano, B., & Galán, A. (2015). Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despeñaperros Natural Park, southern Spain. *Solid Earth*, 6(1), 125–134. doi:10.5194/se-6-125-2015
- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Brevik, E. C., & Cerdá, A. (2015). Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural areas: A comparison of entire soil profiles and soil control sections. *Journal of Environmental Management*, 155, 219–228. doi:10.1016/j.jenvman.2015.03.039
- Percival, H. J., Parfitt, R. L., & Scott, N. a. (2000). Factors Controlling Soil Carbon Levels in New Zealand Grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1623. doi:10.2136/sssaj2000.6451623x
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas : los paramos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de La Ciencia Del Suelo.
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2006). Encyclopedia of soil science. In R. Lal (Ed.), *Soil Science* (Second., pp. 1239–1242). doi:10.1081/E-ESS-120017326
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the pa. *Management*, 18(1), 45–55. doi:10.1079/SUM2001100
- Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*. doi:10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x
- Poulénard, J., Podwojewski, P., & Herbillon, A. J. (2003). Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117(3-4), 267–281. doi:10.1016/S0016-7061(03)00128-9
- Quinton, J. N., Govers, G., Van Oost, K., & Bardgett, R. D. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, 3(5), 311–314. doi:10.1038/ngeo838
- Ruiz Sinoga, J. D., Pariente, S., Diaz, A. R., & Martinez Murillo, J. F. (2012). Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). *Catena*, 94, 17–25. doi:10.1016/j.catena.2011.06.004
- Sá, J. C. de M., & Lal, R. (2009). Stratification ratio of soil organic matter pools as an

- indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 46–56. doi:10.1016/j.still.2008.09.003
- Saavedra, C. (2005). Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques.
- Schrumpf, M., Schulze, E. D., Kaiser, K., & Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, 8(5), 1193–1212. doi:10.5194/bg-8-1193-2011
- Stallard, R. F. (1998). Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. *Global Biogeochemical Cycles*, 12(2), 231. doi:10.1029/98GB00741
- Tamocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. a G., Kuhry, P., Mazhitova, G., & Zimov, S. (2009). Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), 1–11. doi:10.1029/2008GB003327
- Tan, Z., Liu, S., Li, Z., & Loveland, T. R. (2007). Simulated responses of soil organic carbon stock to tillage management scenarios in the Northwest Great Plains. *Carbon Balance and Management*, 2, 7. doi:10.1186/1750-0680-2-7
- Villegas, D. C., Pereyra, F. X., & Ferrer, J. (2007). Suelos, factores de formación y procesos pedogenéticos en el centro oeste de la provincia de Santa Cruz. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 62(3), 366–374.
- Walkley, A & IA Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Walling, D. E., & Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39(1-2), 111–126. doi:10.1016/S0921-8181(03)00020-1
- Wang, S., Wang, X., & Ouyang, Z. (2012). Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 387–395. doi:10.1016/S1001-0742(11)60789-4
- Wiaux, F., Cornelis, J.-T., Cao, W., Vanclooster, M., & Van Oost, K. (2014). Combined effect of geomorphic and pedogenic processes on the distribution of soil organic carbon quality along an eroding hillslope on loess soil. *Geoderma*, 216, 36–47. doi:10.1016/j.geoderma.2013.10.013
- Yoo, K., Amundson, R., Heimsath, A. M., & Dietrich, W. E. (2006). Spatial patterns of soil organic carbon on hillslopes: Integrating geomorphic processes and the biological C cycle. *Geoderma*, 130(1-2), 47–65. doi:10.1016/j.geoderma.2005.01.008
- Zehetner, F., Miller, W. P., & West, L. T. (2003). Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1797. doi:10.2136/sssaj2003.1797
- Zhang, F., Wang, X., Guo, T., Zhang, P., & Wang, J. (2015). Soil organic and inorganic carbon in the loess profiles of Lanzhou area: implications of deep soils. *Catena*, 126, 68–74. doi:10.1016/j.catena.2014.10.031

Zinn, Y., & Lal, R. R. (2005). Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, 127, 168-173



## **4. Capítulo 4. Tendencias de cambio de uso del páramo de Guerrero y el almacenaje de carbono orgánico del suelo**

### **4.1 Introducción**

Los páramos, son ecosistemas de gran importancia ambiental, ya que son considerados como las fuentes principales del recurso hídrico, almacenan grandes cantidades de carbono orgánico en el suelo (COS) y tienen gran biodiversidad, sin embargo la expansión de la frontera agrícola ha desencadenado una creciente demanda de bienes y servicios ecosistémicos, que ha llevado a la desaparición de la zona de transición entre el bosque altoandino y las zonas de páramo y subpáramo (Rangel, 2000), fenómeno que se observa entre los 3000 y los 3200 m.s.n.m., especialmente en la cordillera Oriental, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander (Sarmiento *et al.*, 2013).

La constante intervención antrópica, ha propiciado el denominado fenómeno de “paramización”, que se refiere a la ocupación del páramo en áreas donde existió el bosque (IAvH, 20013), donde el cambio de coberturas vegetales nativas a cultivos y las labores de manejo inciden directamente en la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS), la calidad del suelo y la capacidad productiva en estos ecosistemas (Hofstede *et al.*, 2002; Podwojewski, 1999; Tivet *et al.*, 2013).

Walling & Fang (2003), afirman que la degradación de suelos generada por las actividades antropogénicas a nivel mundial asciende a 1.094 millones de hectáreas, de las cuales el 43% corresponde a áreas deforestadas o con cambios en la cobertura vegetal, el 29% a áreas con sobre pastoreo, otro 24% atribuido al manejo inadecuado y sobre explotación de tierras agrícolas y, por último, un 4% por sobreexplotación de recursos naturales.

Los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas paramunos, son considerados disturbios a gran escala, que ocasionan cambios en las tasas de erosión y depositación, como consecuencia de la interacción de la geomorfología, el clima, la actividad humana, y evidencian los proceso degradativos del recurso suelo, disminuyen la calidad de los mismos al alterar la función relacionada con el balance hídrico y el almacenamiento de carbono (IAvH, 2013)

Sarmiento *et al* (2013), mostraron que los impactos del cambio climático sobre los páramos están relacionados directamente con el aumento de temperatura que favorece la liberación del carbono almacenado en los suelos en forma de CO<sub>2</sub>, en combinación con las

constantes precipitaciones ( $>1100 \text{ mm} \cdot \text{año}^{-1}$ ) que aceleran los procesos degradativos del suelo.

### 4.1.1 Transformación del páramo de Guerrero

El páramo de Guerrero es el ecosistema paramuno colombiano con más intervención antrópica (Cubillos, 2011). Hacia la década de los cuarenta se inició la tendencia de cambio en el uso del suelo y la pérdida de la biodiversidad, en las zonas de mayor altitud, dominadas por frailejones y pajonales de gramíneas en macolla, en las que se entremezclaban matorrales y prados. Actualmente, se puede observar una transición en la que sobresalen matorrales y rastrojos bajos, la cual podría considerarse como la unidad de transición entre el bosque y el páramo (Morales *et al.*, 2007).

Durante el periodo 1950-1960, el patrón de transformación del páramo de Guerrero, mostró un interés creciente en la explotación de sus recursos naturales generada por el uso intensivo del suelo y el cambio de cubiertas vegetales naturales hacia coberturas artificiales, lo que indujo desequilibrios en el ecosistema afectando el paisaje, las fuentes de agua y los suelos (León, 2011).

Anzola (2004) realizó un trabajo de caracterización ecológica de las diferentes coberturas vegetales para la región del páramo de Guerrero específicamente entre Zipaquirá y Cogua (Cundinamarca), definiendo 18 unidades de cobertura clasificadas en cobertura no vegetal y vegetal. En la primera se encuentra la zona urbana, suelo desnudo y cuerpos de agua con el 2,5% del área total; en la segunda, que para el año 2004 ocupaba el 77,14%, se dividió en silvestre–semisilvestre con bosques en los que se establecieron 179 fragmentos, 111 arbustos y 19 herbazales y un fragmento clasificado como chuscal. Las coberturas de bosques, arbustales y herbazales fueron sub-clasificados en altos y bajos como característica estructural y solo para bosques y arbustales en densos y abiertos. La restante cobertura vegetal fue definida como cultural con pastizales que presentan 24 fragmentos, pastizales con árboles y arbustos con 34, plantación forestal con 81 y misceláneo de pastos y cultivos con tan solo 6 fragmentos.

De acuerdo con Morales *et al* (2007), para el año 2000 el complejo del páramo de Guerrero poseía el 30% de su extensión en ecosistemas naturales, los cuales tenían relictos de vegetación, fragmentados y alterados. Trabajos realizados por Alzate (2008), León (2011) y Cubillos (2011), caracterizaron y analizaron los cambios multitemporales ocurridos en el período 1940-2010, los autores concluyeron que entre 1988-2007 se realizó la mayor área pérdida de cobertura de bosques, disminuyó el área de bosque denso alto y denso bajo, que a la fecha representan el 70% del área total de la unidad, que en promedio presentan una altura del dosel superior a los 15 m. Estas formaciones vegetales han sido intervenidas de manera selectiva, sin afectar sus características funcionales.

Cubillos (2011), considera que el cambio en las coberturas vegetales en este páramo, es un indicador de impacto sobre los aspectos biofísicos de un territorio e implica una alteración hacia un uso particular del suelo relacionado con el impacto antrópico y la

pérdida de la calidad del suelo. El citado autor encontró una reducción de la cobertura de bosque natural de 51,59% al 2010 y un 36,88% de disminución de vegetación de páramo de 1963 - 2010. El incremento de pasturas y cultivos en los últimos cincuenta años fue de 356,32% y 190,48%, respectivamente (Peña, 2015).

Nadeu *et al* (2013), afirman que la modelación es una buena herramienta para simular la interacción entre diferentes clases y patrones de cobertura vegetal y uso del suelo, teniendo en cuenta su efecto en la dinámica erosiva y deposicional. Sin embargo, no se reportan muchos modelos que actualmente puedan realizar estas simulaciones combinando flujos horizontales y verticales de movilización de carbono, con la dinámica del cambio de coberturas y uso de la tierra que se evidencia en este páramo, se hace preciso generar escenarios predictivos de almacenamiento de carbono orgánico del suelo con base a las tendencias de cambio de uso de la tierra.

## **4.2 Materiales y métodos**

### **4.2.1 Localización del área de estudio**

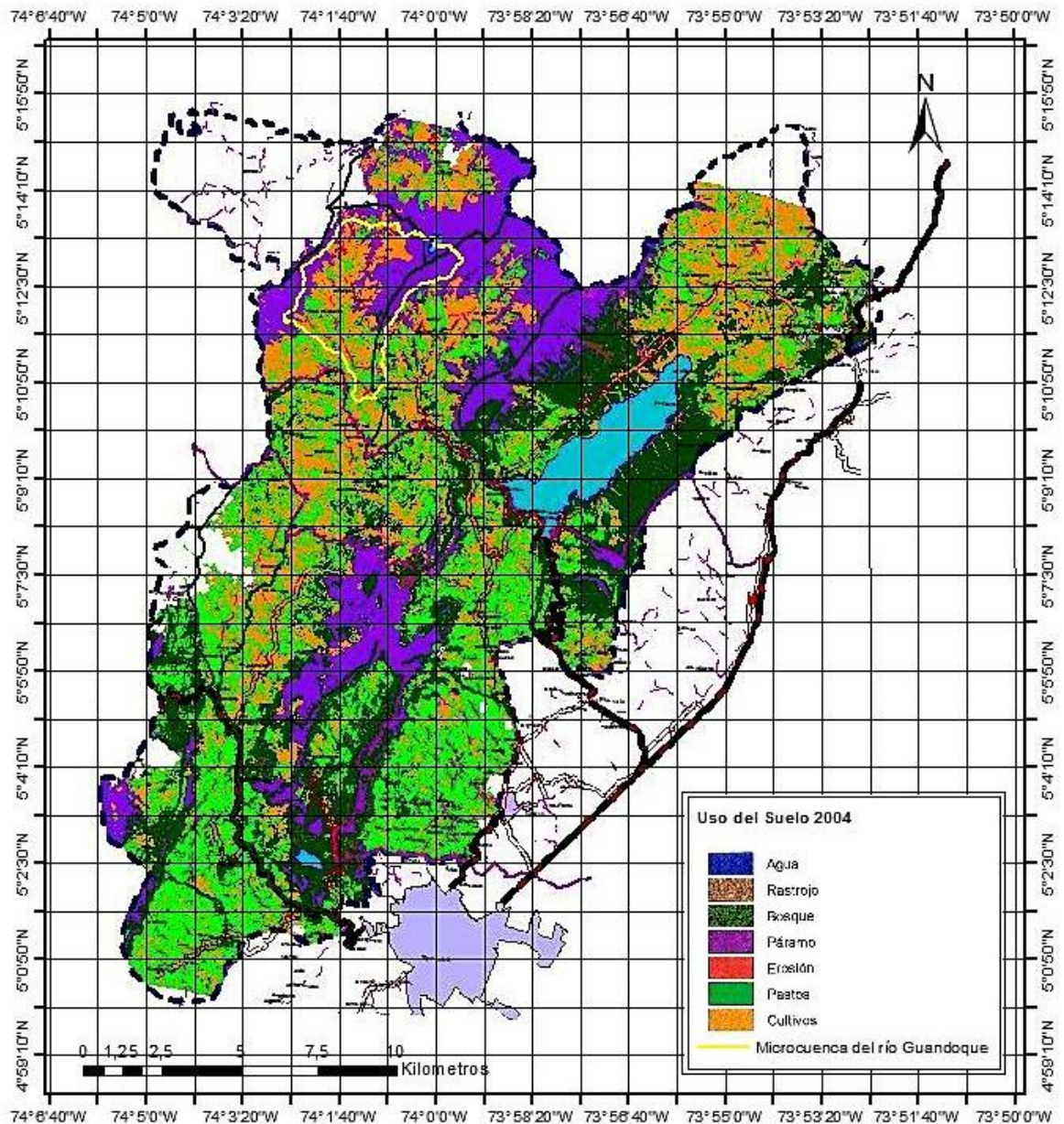
La microcuenca del río Guandoque se encuentra ubicada al suroeste de la cabecera municipal de Tausa, Cundinamarca, y hace parte del complejo del páramo de Guerrero. A pesar de que en esta zona predominan los bosques y las áreas seminaturales (56%), existen evidencias de la alta intervención antrópica asociada principalmente territorios agrícolas (42%), donde predominan las pasturas y el cultivo de papa (Peña Quemba, 2015).

Esta microcuenca equivale al 4,4% (1507,64 ha) de las 34.222 ha evaluadas por Alzate (2008), León (2011) y Cubillos (2011) en el páramo de Guerrero (Figura 4-1).

### **4.2.2 Tendencias de cambio de uso y escenarios futuros**

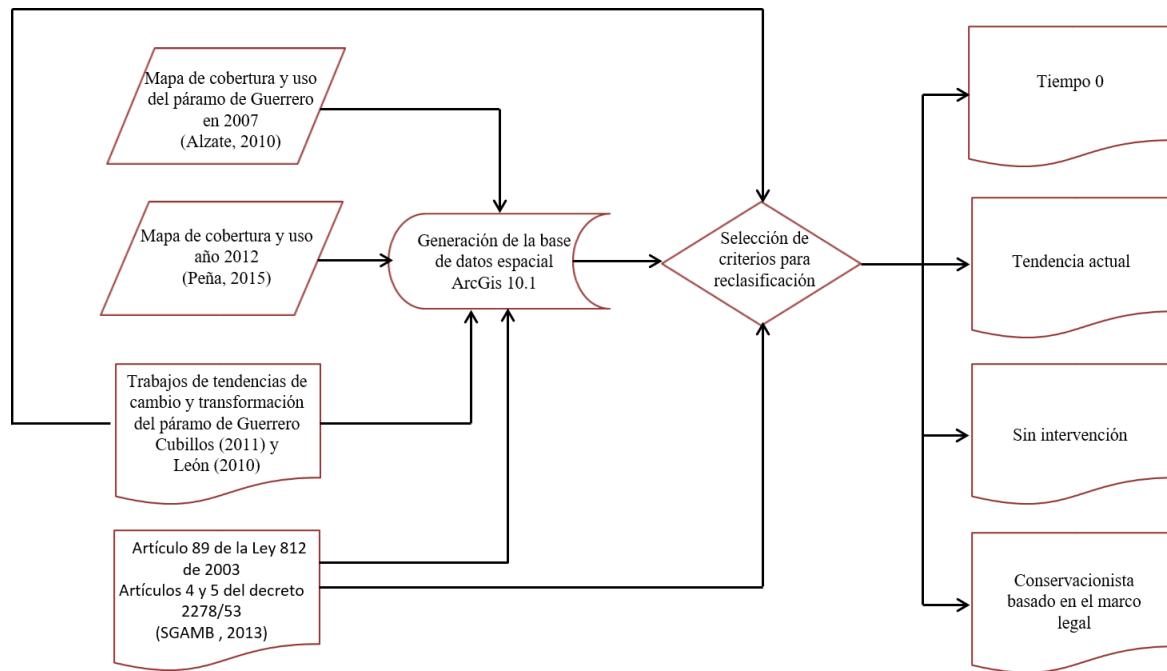
Considerando la información obtenida por investigadores como Alzate (2008), León (2011) y Cubillos (2011) relacionada con el proceso de transformación en el páramo de Guerrero y de la clasificación de cobertura y uso del suelo de la microcuenca del río Guandoque realizada por Peña (2015) a partir de una imagen satelital QuickBird MS de 2.62 m de resolución espacial del año 2012 y de una imagen satelital Rapideye del año 2009 resolución espacial de 5 m, se proponen tres escenarios futuros que relacionan algunas tendencias de cambio en la cobertura vegetal en la microcuenca del río Guandoque, dos a corto plazo (año 2020) y otro a mediano plazo (año 2030) los cuales se ilustran en el diagrama de la Figura 4-2.

**Figura 4-1.** Mapa de cobertura y uso del páramo de Guerrero en 2007 e identificación de la microcuenca del río Guandoque



Adaptado de Alzate (2008)

**Figura 4-2.** Esquema metodológico para predicción de escenarios de cambio

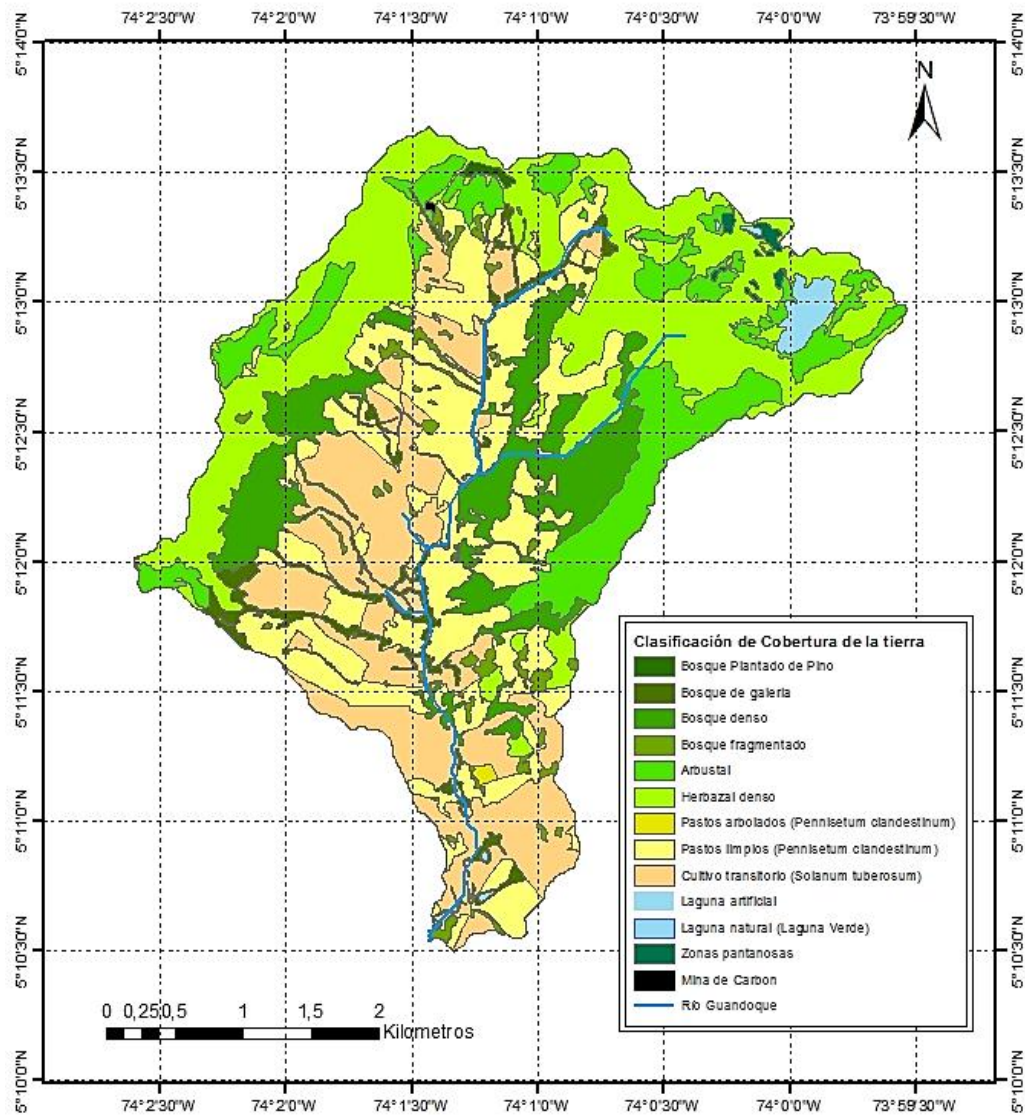


### 4.3 Resultados y discusión

En los tres escenarios propuestos, se espera que los cambios más notables en el COS ocurran en los centímetros superficiales del suelo, ya que es la zona más susceptible a los cambios en la cubierta vegetal y al almacenaje de CO, tal como lo exponen Conant *et al* (2001) y Guo & Gifford (2002), donde el principal factor que influye en la dinámica del COS es el cambio de uso directamente relacionado con el cambio en la cobertura vegetal (Schrumpf *et al.*, 2011).

El escenario 0 (Figura 4-3), muestra la clasificación de la cobertura y uso del suelo al año 2012, donde el 42% corresponde a territorios agrícolas, 345 ha destinadas para uso agrícola pecuario y 292 ha para agrícola intensivo (292 ha). El 56% está distribuido entre bosque denso, bosque fragmentado, bosque de galería y ripario, plantación forestal, herbazal denso y arbustal abierto (Peña Quemba, 2015).

**Figura 4-3.** Escenario 0 con la clasificación de la cobertura a 2012 de la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa-Cundinamarca

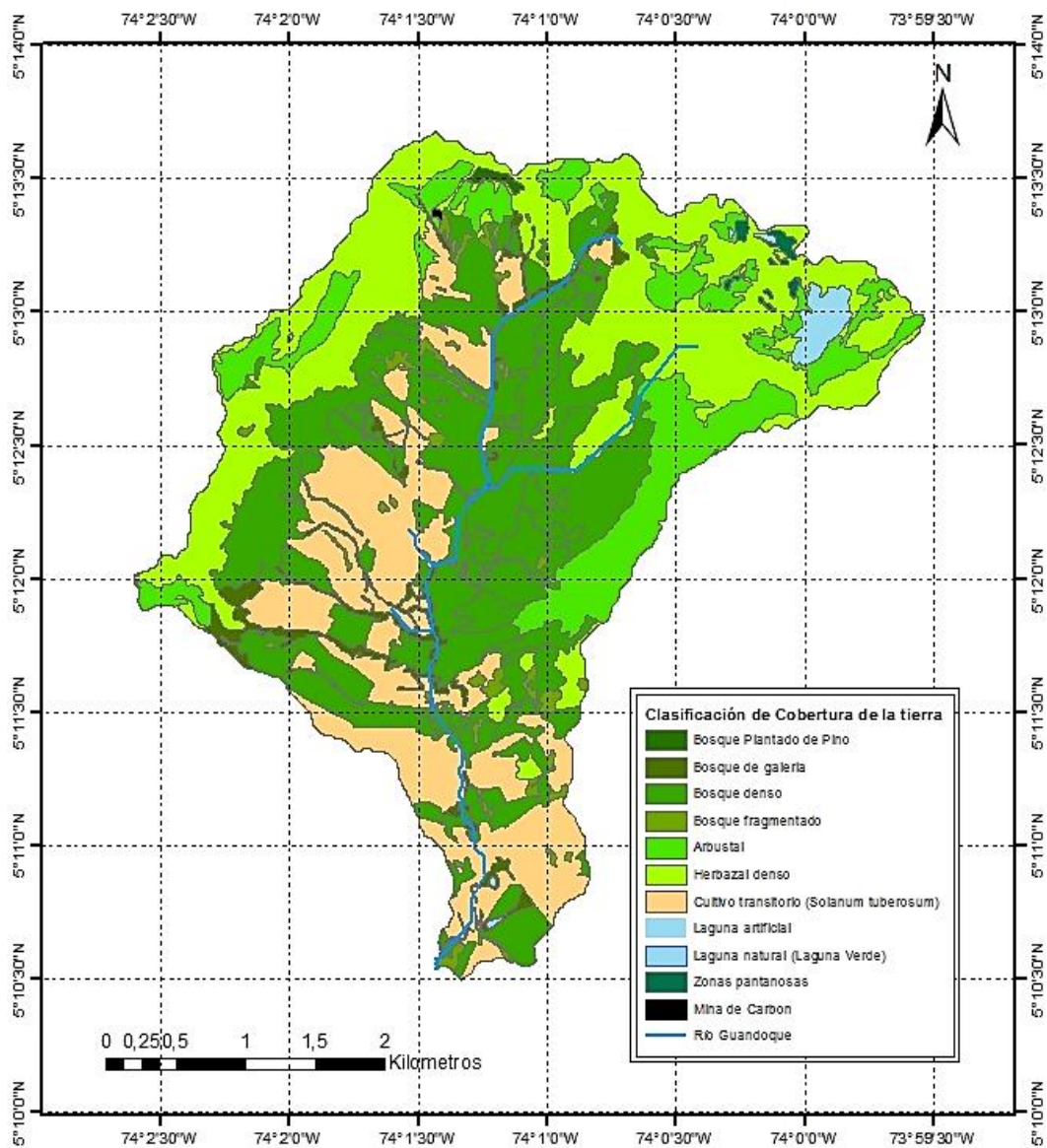


Adaptado de Peña Quemba (2015).

El escenario E1 (Figura 4-4) muestra un escenario optimista, donde para el año 2020, se espera que por lo menos el conocimiento del Artículo 89 de la Ley 812 de 2003 (SGAMB, 2013) establece que: “...las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos acuíferos y de estrellas fluviales, deberán ser adquiridos o protegidos con carácter prioritario por las autoridades ambientales, entidades territoriales y entidades administrativas de la jurisdicción correspondiente...” permita que las áreas ubicadas a más de 3.200 m de altitud sean rehabilitadas de forma natural, dejando que se conviertan en barbecho.

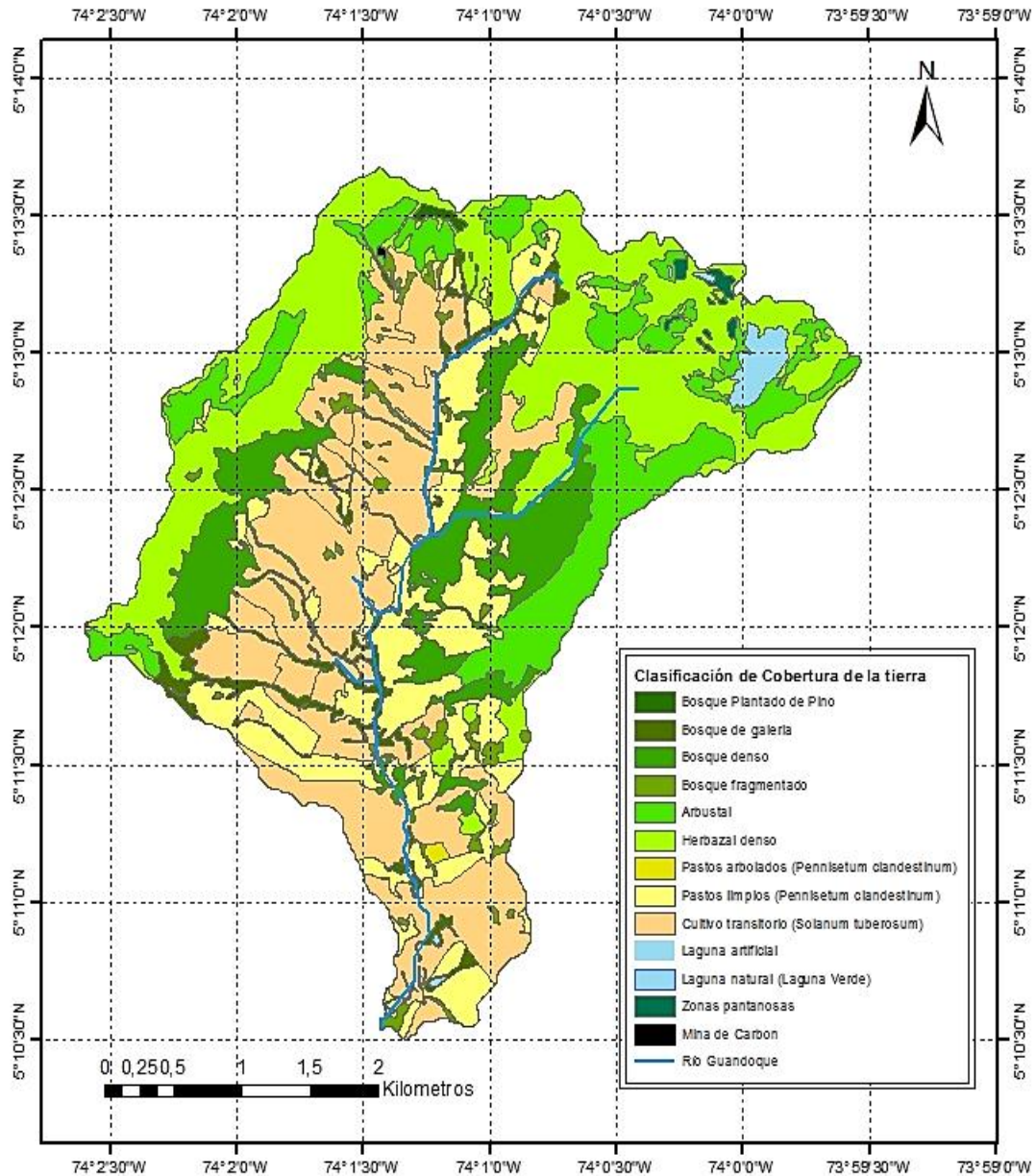
Por lo tanto se espera que algunas zonas destinadas en el escenario E0 para cultivos transitorios y pasturas, se mantengan en descanso, favoreciendo el proceso de restauración del suelo, disminuyendo el riesgo a erosión por el aumento de la cubierta vegetal en la zona, inicialmente arbustos y gramíneas inicialmente, para posteriormente permitir el desarrollo de plantas de mayor porte, que puedan considerarse como bosque denso. Esto estaría soportado por lo que exponen Sarmiento *et al* (2013), quienes afirman que las variaciones climáticas, pueden favorecer la dinámica poblacional de algunas especies vegetales como las acacias, pinos y gramíneas.

**Figura 4-4.** Escenario 1, cambio en la cobertura vegetal a 2020 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa-Cundinamarca



Adicionalmente a incrementar la población de plantas en la zona, se favorece la acumulación de material orgánico en la capa superficial del suelo, lo que podría beneficiar los procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo y humificación, siempre y cuando las condiciones climáticas no los restrinjan debido a las bajas temperaturas y la consecuentemente reducida actividad microbial (CI –CAR, 2004).

**Figura 4-5.** Escenario 2: cambio en la cobertura vegetal por acción antrópica a 2020 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa Cundinamarca

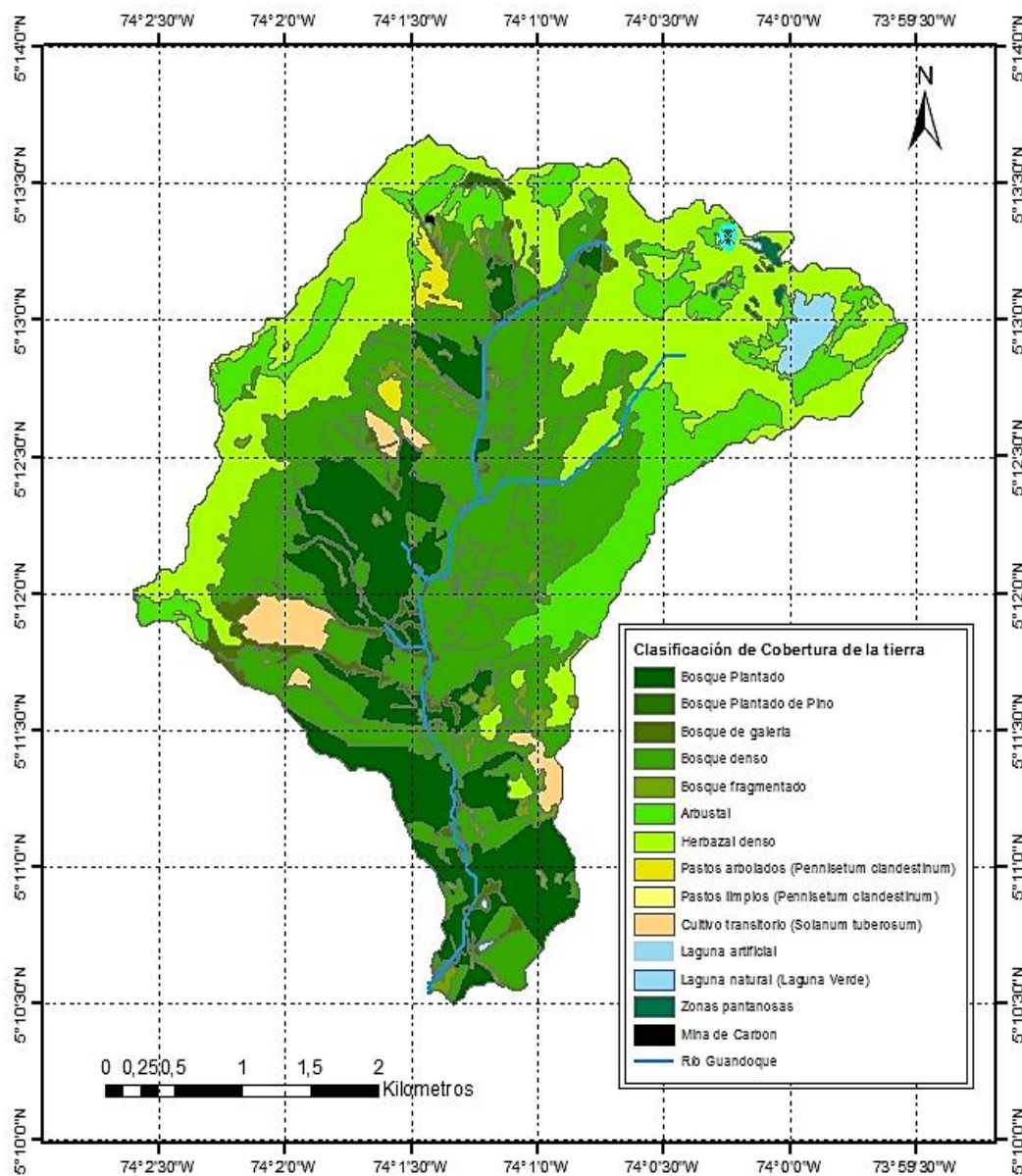


En el escenario E2 (Figura 4-5), se considera la dinámica de transformación dirigida hacia la expansión del cultivo de papa, para lo cual se tuvo en cuenta la información propuesta



por Alzate (2008), León (2011) y Cubillos (2011), quienes afirman que las principales actividades económicas en esta región son la agricultura (cultivo de papa) y la ganadería para producción de leche, en donde los procesos de compactación y erosión por uso excesivo de maquinaria agrícola en zonas con pendientes superiores al 25% contribuyen a la pérdida de la calidad del suelo (Figura 4-1).

**Figura 4-6.** Escenario 3: cambio en la cobertura vegetal proyectado a 2030 en la microcuenca del río Guandoque en el páramo de Guerrero, Tausa Cundinamarca



En este escenario las zonas de pastura son transformadas a cultivo de papa, se espera que el cambio de uso en el suelo y las actividades de manejo, alteren la estructura del suelo y disminuya la reserva de COS, que sumado a la posición topográfica en la que se

encuentran este ecosistema, favorezca los procesos erosivos por escorrentía y por acción del viento; alterando así el papel su capacidad reguladora de agua y reduciendo la calidad del suelo en estos ecosistemas (Podwojewski, 1999; Tivet *et al.*, 2013), e incrementando el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo a la atmósfera (Quinton *et al.*, 2010).

Por último, el escenario E3 (Figura 4-6), planteado hacia 2030, muestra el proceso de reconversión de las áreas afectadas por actividades agrícolas hacia zonas de conservación (Bosque plantado), teniendo como base la normativa expuesta en los Artículos 4 y 5 del decreto 2278/53 sobre zonas protectoras y de interés general en los cuales definen como “zona forestal protectora”, los terrenos situados en las cabeceras de las cuencas de los ríos, arroyos y quebradas, sean o no permanente, las márgenes y laderas con pendiente superior al cuarenta por ciento (40%); la zona de 50 m de ancho a cada lado de los manantiales corrientes, y cualesquier depósito natural de aguas, y todos aquellos en que a juicio del Ministerio de Agricultura, convenga mantener el bosque, o crearlo si ha desaparecido...”

Para este caso, al cabo de 15 años de llevar a cabo las estrategias de conservación y reforestación con especies benéficas para la fuente hídrica que abastece a esta zona, el riesgo a erosión en esta zona disminuirá gracias a la protección vegetal, al aporte de residuos orgánicos y a las condiciones climáticas. De manera similar, la cantidad de COS debe incrementar en los horizontes superficiales, favorecido específicamente por las curvaturas cóncavas de las zonas depositacionales.

En cualquiera de los tres escenarios se espera que si la temperatura aumentara por lo menos 0.6 °C por efecto del cambio climático global, incremente la tasa de descomposición de la materia orgánica, disminuyendo su capacidad de retención de humedad y por ende su capacidad de regulación hídrica (Buytaert *et al.*, 2004)

## **4.4 Conclusiones**

Las transformaciones actuales del páramo de Guerrero relacionadas con el cambio de uso y de coberturas afectan directamente las reservas de carbono del suelo.

La velocidad de transformación de las zonas de conservación de la microcuenca del río Guandoque continúa incrementando y se hace necesario implementar estrategias que permitan disminuir el impacto actual y potencial de las actividades antrópicas en la región.

Para simular los flujos del COS inducidos por la erosión y evaluar la importancia de los mismos en el marco de la escala de cuenca es necesario contar con un modelo que incluya no solo los factores topográficos, climáticos y algunas propiedades del suelo, sino que además permita incorporar los cambios en la cobertura vegetal y uso de la tierra.

## 4.5 Referencias

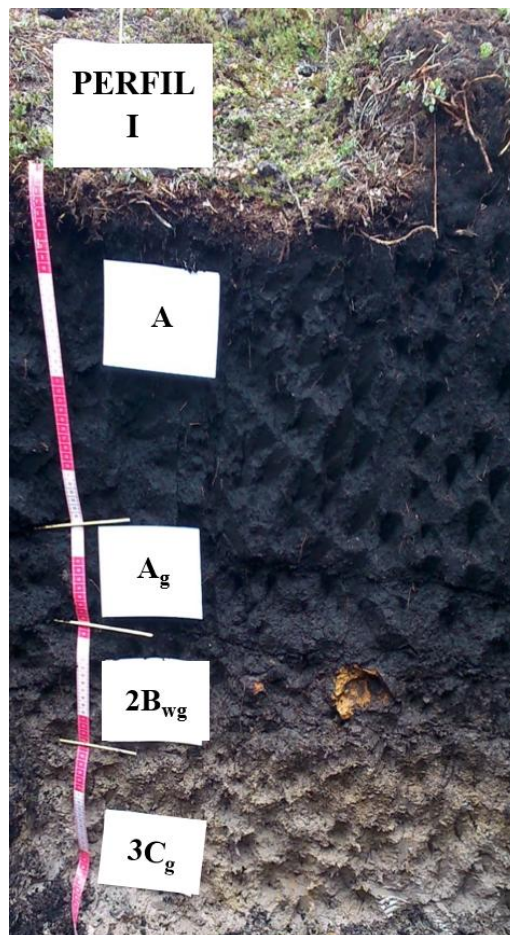
- Alzate Atehortúa, B. E. (2008). Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental : bajo un enfoque sistémico de las interrelaciones sociedad-naturaleza : base teórico-metodológica y aplicación a través de Indicadores Sistémicos Ambientales - ISA, espaciales o de tercera generación. Bogotá Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) 2008. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02704a&AN=unc.000380722&lang=es&site=eds-live>
- Anzola, T. I. (2004). De la cobertura vegetal para la conservación de la región del páramo de Guerrero (Zipaquirá y Cogua -Cundinamarca). Pontificia Universidad Javeriana.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2004). Hidrología del Páramo Andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. Colombia Tiene Páramos, 1–26.
- CI-CAR. 2004. Declaratoria y formulación del plan de manejo de un área de conservación en jurisdicción del Páramo de Guerrero. Bogotá.
- Conant, R.T., Paustian, K., Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11, 343–355.
- Cubillos, A. (2011). El proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas. Universidad Nacional de Colombia.
- Doetterl, S., Stevens, A., van Oost, K., Quine, T. a., & van Wesemael, B. (2013). Spatially-explicit regional-scale prediction of soil organic carbon stocks in cropland using environmental variables and mixed model approaches. *Geoderma*, 204-205, 31–42. doi:10.1016/j.geoderma.2013.04.007
- Guo, L.B., Gifford, R.M., (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345– 360.
- Hofstede, R., Coppus, R., Mena-Vásconez, P., Segarra, P., & Wolf, J. (2002). The conservation status of tussock grass páramo in Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3–18.
- Instituto de Investigación Alexander vom Humboldt –IAvH-. (2013). Visión ecosistémica de los páramos de alta montaña colombiana: Memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. (J. Córtes & C. Sarmiento, Eds.). Bogotá D.C.
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437–50. doi:10.1016/S0160-4120(02)00192-7
- León, N. (2011). EL PÁRAMO DE GUERRERO: CONFLICTOS ENTRE CONSERVACIÓN Y REPRIMARIZACIÓN DE SU ECONOMÍA. *Revista Geográfica de América Central*, 1–17. Retrieved from <http://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/6089>

- Morales, M., Otero, J., & Van der Hammen, T. (2007). Complejo Guerrero. In Atlas de páramos de Colombia (p. 83:85). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., ... Cárdenas, L. (2007). Atlas Páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Peña Quemba, D. C. (2015). Variabilidad del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero. Tesis para optar por el título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia., Sede Bogotá.
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas : los paramos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de La Ciencia Del Suelo.
- Quinton, J., Govers, G., Van Oost, K., & Bardgett, R. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, 3, 311-314.
- Rangel, O. (2000). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- Sarmiento, C., Cadena, C., Sarmiento, M., Zapata, J., & León, O. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los Páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C –SGAMB-. 2003. Ley 812 de 2003 Nivel Nacional. En: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8795>
- Schrumpf, M., Schulze, E. D., Kaiser, K., & Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, 8(5), 1193–1212. <http://doi.org/10.5194/bg-8-1193-2011>
- Tivet, F., de Moraes Sá, J. C., Lal, R., Borszowski, P. R., Briedis, C., dos Santos, J. B., ... Séguy, L. (2013). Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma*, 209-210, 214–225. doi:10.1016/j.geoderma.2013.06.008
- Walling, D. E., & Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39(1-2), 111–126. doi:10.1016/S0921-8181(03)00020-1.
- Wiaux, F., Cornelis, J.-T., Cao, W., Vanclooster, M., & Van Oost, K. (2014). Combined effect of geomorphic and pedogenic processes on the distribution of soil organic carbon quality along an eroding hillslope on loess soil. *Geoderma*, 216, 36–47. doi:10.1016/j.geoderma.2013.10.013

# A. Anexo A: Descripción de perfiles

## a. Perfil I

Fecha: 3 de abril de 2014  
Descrito por: Yolanda Rubiano  
Clasificación Taxonómica USDA: Typic Endoaquand  
Clasificación Taxonómica FAO: Aquic Melanudand  
Símbolo Unidad Cartográfica: MEUb  
Coordenadas geográficas:  
Latitud 5° 12' 48,1"N Longitud 74 ° 00' 16,4"W  
Altitud: 3629 m.s.n.m.  
Localización: Camino hacia Laguna verde  
Departamento Cundinamarca  
Municipio: Tausa  
Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero  
Paisaje: Montaña  
Tipo de relieve: Artesa  
Forma del terreno: Planicie  
Relieve: Ligeramente ondulado  
Material Parental: Cenizas volcánicas  
Pendiente: 7-12%  
Clima ambiental: Extremadamente frío y húmedo.  
Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm  
Zona de Vida Holdridge: Páramo  
Temperatura ambiente: 6 °C  
Temperatura edáfica: <8°C  
Régimen de temperatura: Isofrígido  
Régimen de humedad: Ácuico  
Tipo y grado de erosión: No hay.  
Drenaje externo:  
Drenaje interno:  
Drenaje natural: Bien drenado.  
Nivel freático: superficial ( cm)  
Inundaciones: No hay.  
Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico  
Vegetación: Natural de páramo (Frailejón, sphagnum)  
Uso actual: Conservación  
Limitantes del uso: Zona de uso legal restringido conservación



**A**  
0-36/51cm

Color en húmedo negro (10YR2/1); textura al tacto franco arenosa; estructura en bloques angulares, medios y gruesa, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros finos y medianos, vesiculares, tubulares y continuos, imped; muchas raíces finas y muy finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; pH extremadamente ácido (4.0), límite difuso e irregular.

**Ag**  
36/51-49/61  
cm

Color en húmedo negro rojizo (2,5YR 2,5/1) con 10% de moteados color rojo pálido (2,5YR6/2); textura al tacto franco areno limosa; estructura en bloques angulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros finos, vesiculares y continuos, imped; pocas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al fluoruro de sodio; pH muy fuertemente ácido (5.0); límite difuso e irregular.

**2B<sub>wg</sub>**  
49/61 - 64  
cm

Color en húmedo rojo pálido (2,5YR6/2) en un 60%, presencia de moteados 30% rojo oscuro (2,5YR3/2) y 10% rojo claro (2,5YR7/6); textura al tacto arcillosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros finos, sin raíces; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al fluoruro de sodio; pH muy fuertemente ácido (4,5; límite gradual, ondulado.

**3C<sub>g</sub>**  
64-100x cm

Color en húmedo rojo pálido (2,5YR7/2) en un 90%, 10% de moteados de color pardo rojizo claro (2,5YR6/3); textura al tacto arcillosa; sin estructura (masiva), consistencia en mojado muy pegajosa y muy plástica; con reacción negativa al fluoruro de sodio; sin reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

**Tabla A-1. Análisis químico perfil I**

Hz	Prof (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A	0-36	4	26	45.51	2.27	FA	29.2	1.33	0.17	0.17	0.09	1.76	6.31	6.3	4.55
A <sub>g</sub>	36-49	4.6	8.95	15.43	1.00	FArA	3.96	0.52	0.13	0.11	0.08	0.84	6.21	6.21	5.37
2B <sub>wg</sub>	49-64	4.7	3.39	5.84	0.29	Ar	4.33	0.16	0.08	0.04	0.07	0.35	7.84	7.85	7.49
3C <sub>g</sub>	64-100x	4.4	0.74	1.28	2.00	Ar	4.09	0.2	0.21	0.05	0.07	0.53	10.39	10.4	9.86

**Tabla A-2. Análisis físicos perfil I**

- a. Densidad aparente, humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil I hasta 100 cm de profundidad

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,35	175,38	61,81
10-20	0,42	172,36	72,93
20-30	0,30	230,27	69,90
30-40	0,44	184,19	80,22
40-50	0,62	120,82	75,44
50-60	0,72	93,53	67,10
60-70	-	-	-
70-80	-	-	-
80-90	-	-	-
90-100	-	-	-

- b. Textura determinada por el método de la pipeta del perfil I

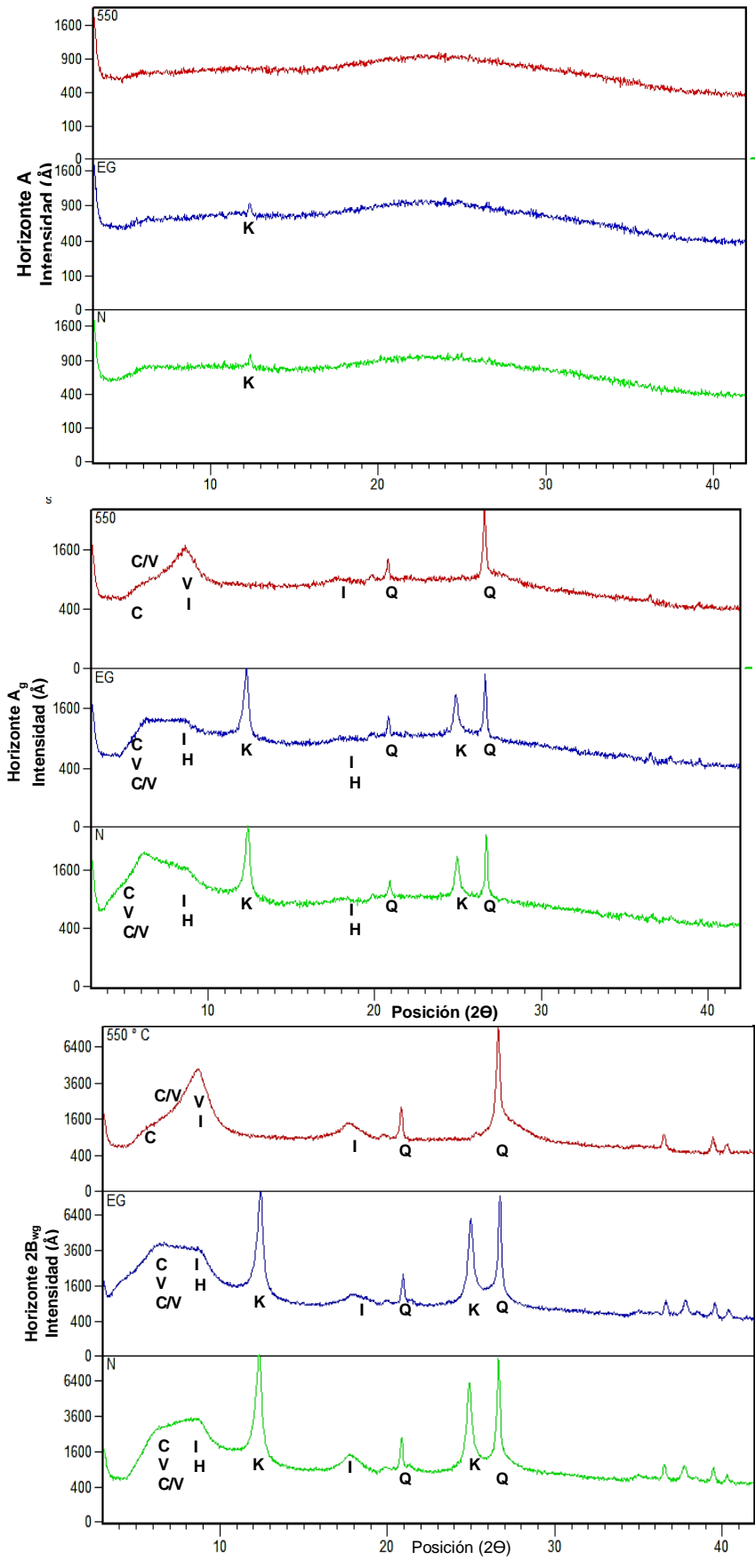
Hz	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A	0.91	0.18	0.39	1.61	3.76	6.85	6.78	6.78	38.67	45.45	Ar L	Fina
Ag	0.58	0.46	0.36	1.48	3.96	6.84	2.56	20.65	23.21	69.96	Ar	Fina
2B <sub>wg</sub>	1.83	0.61	0.27	0.74	2.45	5.9	2.16	13.32	15.48	78.63	Ar	Fina
3C <sub>g</sub>	0.51	0.4	0.17	0.37	1.25	2.7	0.94	13.27	14.21	83.1	Ar	Fina

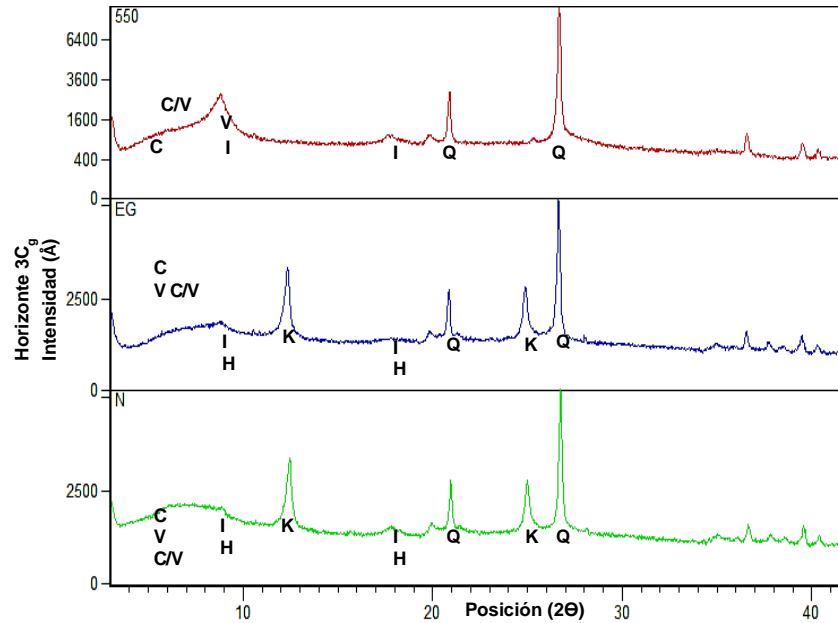
- c. Propiedades Ándicas del perfil I

Hz	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A	0-36	1,52	72,10	0,70	1,40	1,75
A <sub>g</sub>	36-49	1,51	97,40	1,00	1,30	1,80
2B <sub>wg</sub>	49-64	1,52	93,10	0,56	0,80	1,08
3C <sub>g</sub>	64x	1,59	58,70	0,22	0,36	0,47

- d. Análisis Mineralógicos Perfil I empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C)

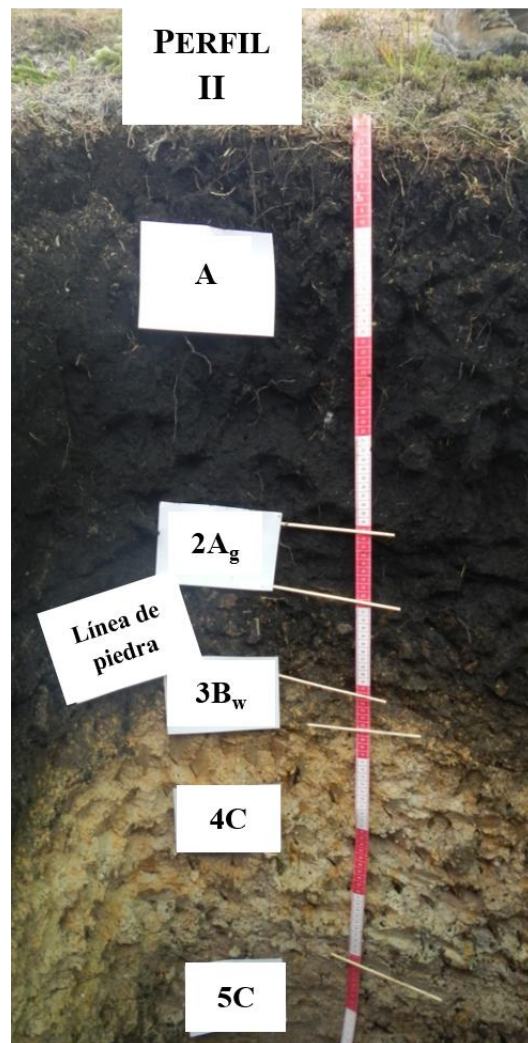
caolinita (K); cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





## b. Perfil II

Fecha: 4 de abril de 2014  
 Descrito por: Yolanda Rubiano  
 Clasificación Taxonómica USDA: Typic Endoaquand  
 Clasificación Taxonómica FAO: Aquic Melanudands  
 Símbolo unidad cartográfica: MEAC  
 Localización: Camino hacia Laguna verde  
 Departamento: Cundinamarca  
 Municipio: Tausa  
 Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero  
 Coordenadas geográficas  
 Latitud 5° 12' 52,5" N Longitud 74° 0' 33,9" W  
 Altitud: 3610 msnm  
 Paisaje: Montaña  
 Tipo de relieve: Artesa  
 Forma del terreno: Planicie  
 Relieve: Moderadamente inclinado  
 Material Parental: Cenizas volcánicas, rocas clásticas glaciogénicas  
 Pendiente: 3-7%  
 Clima ambiental: Extremadamente Frío y húmedo.  
 Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm  
 Zona de Holdridge: Páramo  
 Temperatura ambiente: 6 °C  
 Temperatura edáfica: <8°C  
 Régimen de temperatura: Isofrío  
 Régimen de humedad: Aquico  
 Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar y eólica.  
 Drenaje externo,  
 Drenaje interno  
 Drenaje natural: Bien drenado.  
 Nivel freático: No se encontró  
 Inundaciones: No hay.  
 Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico  
 Vegetación: Vegetación de páramo (frailejones, pajonales y arbustos)  
 Uso actual: Sin Uso  
 Limitantes del uso: Zona de conservación





<b>A</b> 0-40 cm	Color en húmedo 2,5YR2,5/1; textura franco limosa; estructura en bloques angulares, moderadamente desarrollados y medios; consistencia en húmedo friable y en mojado pegajosa y ligeramente plástica; frecuentes poros, medianos y finos; muchas raíces medianas, vivas, de distribución normal; con reacción positiva al fluoruro de sodio; pH 4,3; reacción muy fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
<b>2A<sub>g</sub></b> 40-50 cm	Color en húmedo 7,5YR2,5/1; textura Franco limosa, estructura en bloques angulares, moderados, medios; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; frecuentes poros medianos y finos; frecuentes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; con reacción positiva al fluoruro de sodio; pH 5.97; reacción ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
<b>LP</b> 50-60 cm	Línea de piedra de.50-60cm
<b>3B<sub>wb</sub></b> 60-69 cm	Color en húmedo 7YR8/4 en un 80% y 7,5YR4/1 en un 15%, presencia de moteados de color 7,5YR6/8 en un 5% y presencia de gravilla en un 2,5%; textura franco areno limosa; estructura en bloques subangulares, moderados y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces muertas en grietas, con reacción positiva al fluoruro de sodio; pH 5,57; con reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
<b>4C</b> 69-100 cm	Color en húmedo 7YR7/1 en un 95% y moteados 7,5YR5/8 en un 5%; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros finos; con pocas raíces muertas distribuidas en grietas, con reacción positiva al fluoruro de sodio; pH 5,08; sin reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
<b>5C</b> 100-115x cm	Saprolito y fragmentos de roca poco intemperizada

**Tabla A-3. Análisis químico perfil II**

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A	0-40	4	19	32.07	1.60	AF	7.74	0.27	0.2	0.18	0.11	0.76	8.4	8.4	7.64
2A <sub>g</sub>	40-50	5	9.89	17.05	0.85	AF	2.73	0.18	0.07	0.07	0.1	0.42	2.2	2.19	1.78
LP	50-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3B <sub>w</sub>	60-69	5.1	3.26	5.62	0.28	FArA	3.98	0.18	0.11	0.03	0.25	0.57	2.42	2.42	1.85
4C	69-100	4.6	0.44	0.76	0.04	Ar	12.8	0.29	0.08	0.06	0.11	0.54	7.86	7.87	7.32
5C	100-115x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla A-4. Análisis físicos perfil II**

- e. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica del perfil II de 0 a 100 cm de profundidad

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
<b>0-10</b>	0,39	175.38	49,04
<b>10-20</b>	0,42	172.36	59,59
<b>20-30</b>	0,37	230.27	78,06
<b>30-40</b>	0,45	184.19	69,67
<b>40-50</b>	0,49	120.82	71,40
<b>50-60</b>	-	93.53	-
<b>60-70</b>	0,76	63.18	71,63
<b>70-80</b>		-	-
<b>80-90</b>		-	-
<b>90-100</b>		-	-

f. Textura por el método de la pipeta perfil II

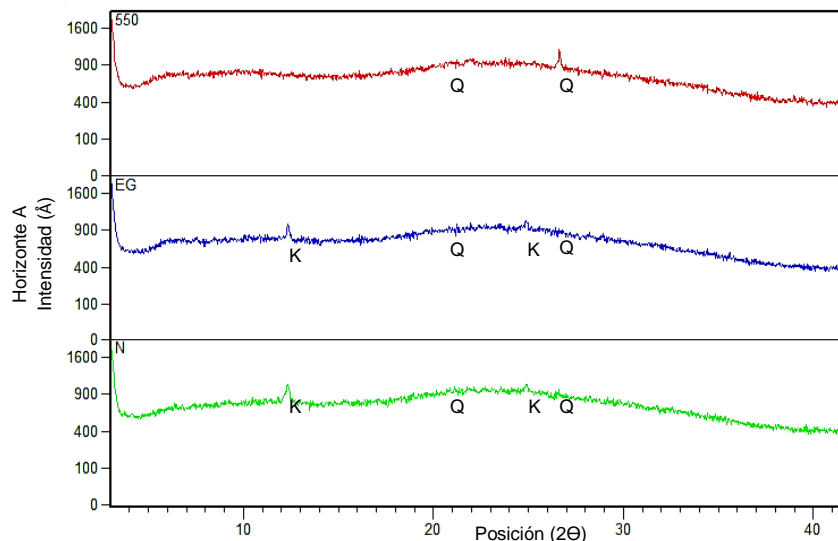
Hz	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	LG	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A	0.6	0.3	0.62	5.1	14.22	20.84	13.82	32.81	46.63	32.53	F Ar	Moderadamente Fina
2 <sub>Ag</sub>	0.93	2.08	2.65	6.73	12.18	24.57	11.85	23.42	35.27	40.15	Ar	Fina
LP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3B <sub>w</sub>	1.78	1.35	0.97	5.03	10.9	20.03	9.34	20.31	29.65	50.32	Ar	Fina
4C	1.49	0.68	0.46	2.86	7.72	13.21	4.33	13.93	18.26	68.53	Ar	Fina
5C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

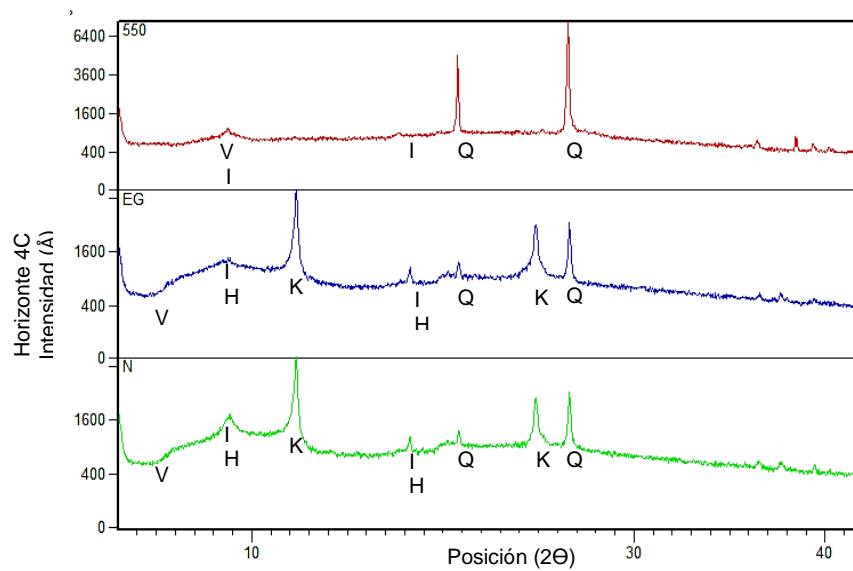
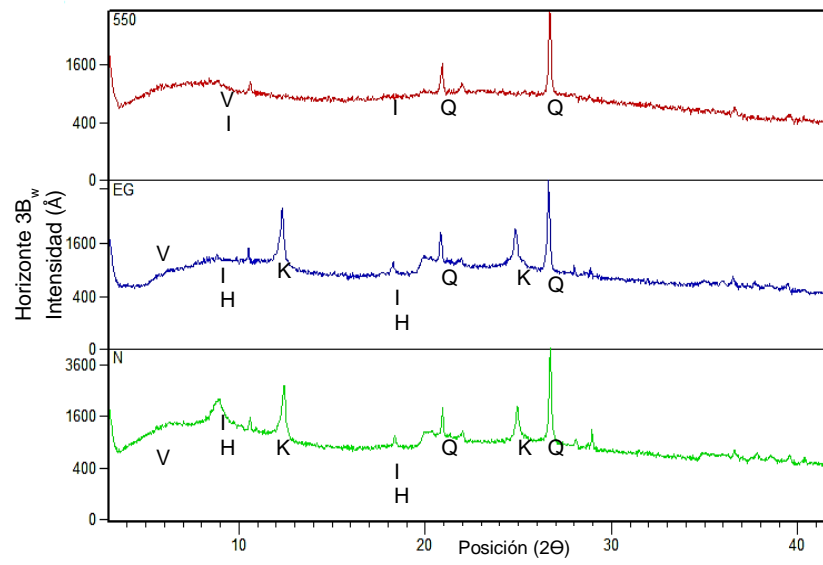
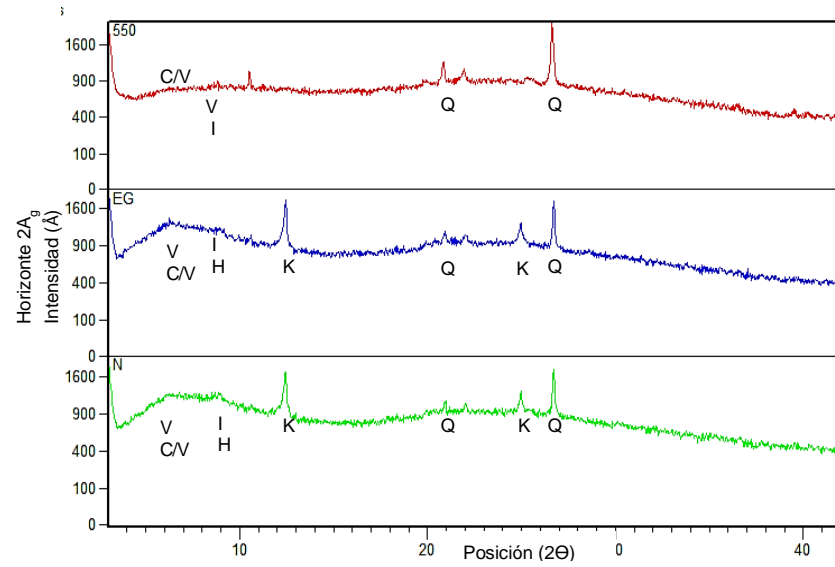
g. Propiedades Ándicas perfil II

Hz	Profundidad (cm)	IM	RF (%)	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A	0-40	1,51	90,60	1,20	2,20	2,80
2 <sub>Ag</sub>	40-50	1,51	99,30	0,58	2,10	2,39
LP	50-60	-	-	-	-	-
3B <sub>w</sub>	60-69	1,62	96,70	0,50	1,70	1,95
4C	69-100	1,56	55,50	0,28	0,42	0,56
5C	100-115x					0,00

h. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil II empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

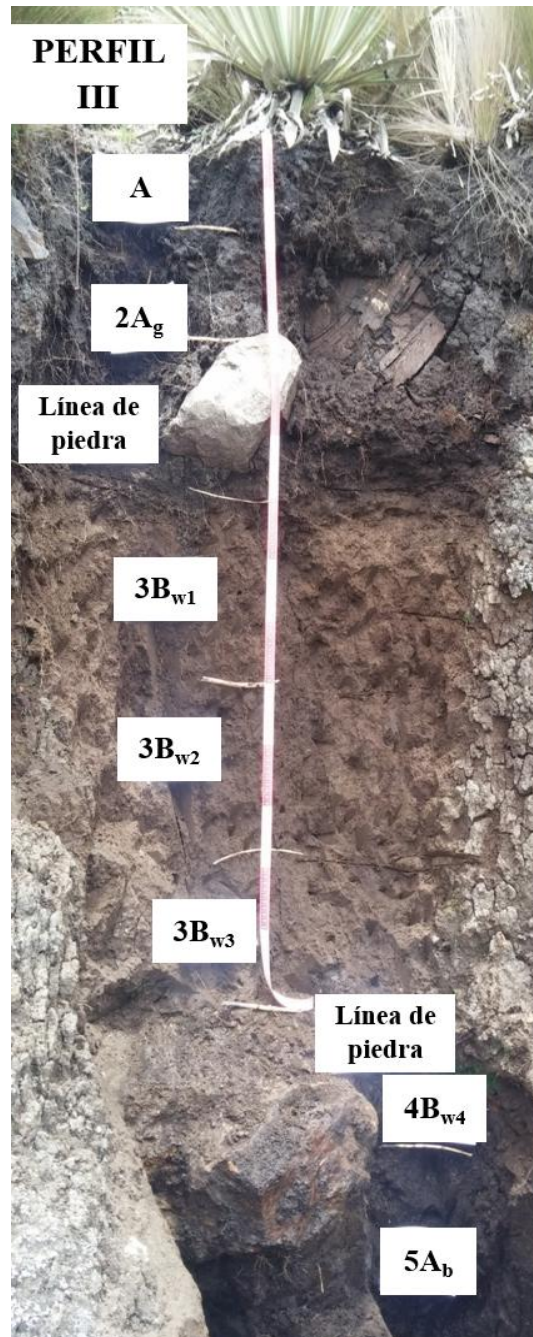
caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





### c. Perfil III

Fecha: 4 de abril de 2014  
 Descrito por: Juan Carlos Loaiza Usuga, Diego Camilo Peña Quemba y Silvia Caguasango  
 Clasificación Taxonómica USDA: Pachic Melanudands  
 Clasificación Taxonómica FAO: Aquic Melanudands  
 Símbolo unidad cartográfica: MEFf  
 Localización: Perfil de carretera subiendo hacia Laguna Verde  
 Departamento: Cundinamarca  
 Municipio: Tausa  
 Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero  
 Coordenadas geográficas  
 Latitud 5°13'2,497"N Longitud 74°0'58,057" W  
 Altitud: 3542 msnm  
 Paisaje: Montaña  
 Tipo de relieve: Crestones  
 Forma del terreno: Ladera  
 Relieve: Pendiente abierta  
 Material Parental: Cenizas volcánicas y rocas sedimentarias clásticas  
 Pendiente: >25%  
 Clima ambiental: Extremadamente Frío y húmedo.  
 Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm  
 Zona de Holdridge: Páramo  
 Temperatura ambiente: 6 °C  
 Temperatura edáfica: <8°C  
 Régimen de temperatura: Isomesico  
 Régimen de humedad: udico  
 Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar y eólica.  
 Drenaje externo,  
 Drenaje interno  
 Drenaje natural: Bien drenado.  
 Nivel freático: No se encontró  
 Inundaciones: No hay.  
 Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico  
 Otras características diagnósticas: Horizonte enterrado y línea de piedra  
 Vegetación: Vegetación de páramo (frailejones, pajonales y arbustos)  
 Uso actual: Sin Uso  
 Limitantes del uso: Zona de conservación



- A** Color en húmedo 7.5YR2,5/1, textura franco arcillosa, estructura granular, media a fina y de moderada a débil. Consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; muchos poros medios y finos Frecuentes raíces vivas y muertas. Reacción positiva para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reacción positiva al NaF, pH por potenciómetro 5,08; Presencia de fragmentos angulosos pequeños de 1 a 3 cm de diámetro.  
 0-19 cm
- 2A** Color en húmedo 7.5YR2,5/1; textura franco arcillosa; estructura granular media y de moderada. Consistencia en húmedo friable y en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros muy finos-finos-medianos; vesiculares, tubulares, continuos; muchas raíces muy finas – finas–medianas, gruesas, vivas–muertas distribuidas normalmente imped–exped: reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; reacción positiva al NaF; pH por colorimetría 5. Evidencia de fragmentos de roca tipo laja y pedregón, angular irregular, 40% sin alteración sedimentaria. Además una línea de piedra entre 37-47cm de profundidad, caracterizada por presentar fragmentos angulares de 30-50 cm de diámetro  
 19-58 cm

3B <sub>w1</sub> 58-95 cm	Color en húmedo 2.5Y4/3 en 90%; moteados en húmedo:7.5YR 2,5/1 en un 10%; textura arcillo limosa, estructura prismática subangular, media a gruesa, moderada; consistencia en húmedo firme y en mojado pegajosa y plástica; muchos poros, finos-medianos; vesiculares, tubulares, continuos; muchas raíces, finas-medianas, vivas-muertas, normal, imped-exped; sin reacción al H <sub>2</sub> O, reacción al NaF positiva; pH por colorimetría: 5,5; Limite: claro y ondulado.
3B <sub>w2</sub> 95-123 cm	Color en húmedo 2.5Y4/3; textura arcillo limosa; estructura prismática subangular gruesa y fuerte; consistencia en húmedo firme y en mojado pegajosa y plástica; muchos poros finos-medianos, vesiculares y tubulares, continuos; pocas raíces finas y medianas, vivas-muertas, imped-exped; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; reacción positiva al NaF: pH por colorimetría: 5,5. Limite difuso y ondulado
3B <sub>w2</sub> 95-123 cm	Color en húmedo 2.5Y4/3; textura arcillo limosa; estructura prismática subangular gruesa y fuerte; consistencia en húmedo firme y en mojado pegajosa y plástica; muchos poros finos-medianos, vesiculares y tubulares, continuos; pocas raíces finas y medianas, vivas-muertas, imped-exped; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; reacción positiva al NaF: pH por colorimetría: 5,5. Limite difuso y ondulado.
3B <sub>w3</sub> 123-145 cm	Color en húmedo 2.5Y4/4; textura arcillo limosa; estructura prismática angular, media y gruesa, fuerte; consistencia en húmedo firme, y en mojado pegajosa y plástica; pocos poros finos, vesiculares y tubulares, continuos, reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; reacción positiva al NaF: pH por colorimetría: 5,5. Evidencia de fragmentos de roca tipo piedra y pedregón, angular-irregular, 10% (frecuente), sin alteración, sedimentaria. Adicionalmente se evidencia una Línea de piedra desde 145-157 cm.
5A <sub>b</sub> 172x cm	Color en húmedo 2,5Y2,5/1; modificador de textura: medial tixotrópica; fragmentos de roca tipo gravilla; estructura en bloques su angulares, media, débil; consistencia en húmedo muy friable y en mojado no pegajosa y no plástica; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :reacción positiva al NaF. Limite abrupto ondulado, odulado. pH: 6,5.

Tabla A-5. Análisis químico perfil III

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A	0-19	5	14	23.27	1.17	FA	16.4	0.13	0.32	0.15	0.1	0.7	1.18	1.18	0.48
2A <sub>g</sub>	19-58	5.3	9.29	16.02	0.80	AF	12.1	0.17	0.11	0.08	0.05	0.41	1.46	1.46	1.05
3B <sub>w1</sub>	58-95	5.5	4.32	7.45	0.37	AF	5.88	0.17	0.04	0.04	0.08	0.33	0.33	0.32	0
3B <sub>w2</sub>	95-123	5.5	3.84	6.62	0.33	AF	3.97	0.14	0.02	0.02	0.07	0.25	0.25	0.25	0
3B <sub>w3</sub>	123-145	5.5	3.32	5.72	0.29	AF	2.5	0.11	0.01	0.01	0.06	0.19	0.19	0.19	0
LP	145-157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4B <sub>w4</sub>	157-172	5.2	4.69	8.09	0.40	AF	4.84	0.16	0.05	0.04	0.1	0.35	0.88	0.08	0.53
5A <sub>b</sub>	172x	5.3	9.86	17.00	0.85	A	21	0.21	0.02	0.06	0.08	0.37	1.43	1.43	1.06

Tabla A-6. Análisis físicos perfil III

- i. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,63	77,97	49,01
10-20	0,66	98,63	64,68
20-30	0,61	100,67	61,16
30-40	0,59	97,76	57,92
40-50	0,64	109,27	69,41
50-60	0,75	95,01	71,44
60-70	0,58	124,99	72,36
70-80	0,57	125,86	71,97
80-90	0,57	125,82	71,67
90-100	0,60	126,19	75,19

j. Textura por el método de la pipeta perfil III

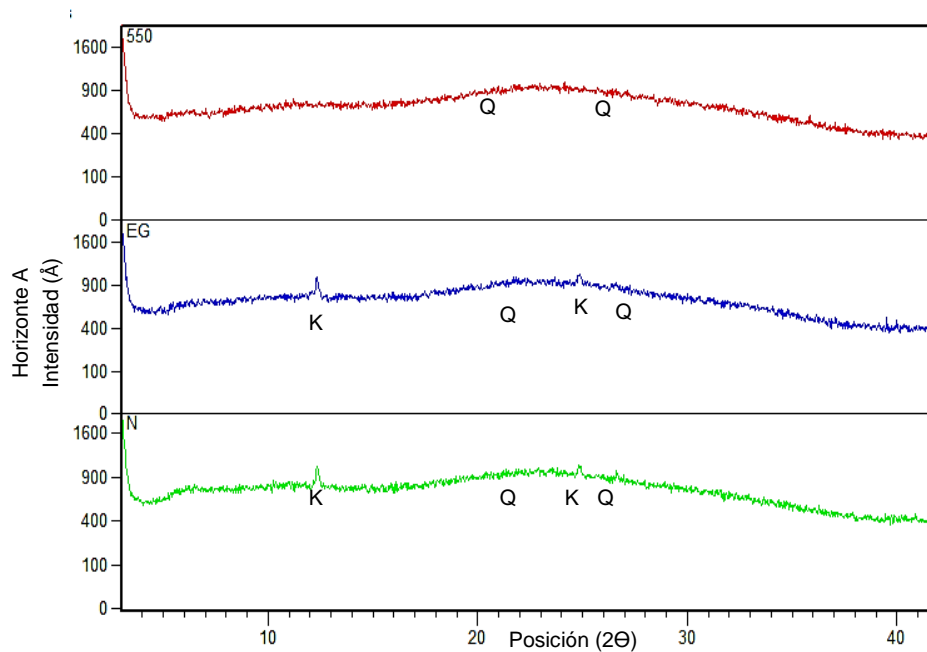
Hz	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A	2.54	2.09	1.68	4.3	11.32	21.93	15.69	32.01	47.7	30.38	F Ar	Moderadamente Fina
2A <sub>g</sub>	17.09	18.44	10.14	8.69	9.32	63.68	9.56	13.09	22.65	13.67	F A	Moderadamente gruesa
3B <sub>w1</sub>	7.48	15.02	12.42	18.06	15.75	68.73	9.76	10.37	20.13	11.14	F A	Moderadamente gruesa
3B <sub>w2</sub>	7.05	11.03	9.55	14.5	16.43	58.56	15.57	17.26	32.83	8.62	F A	Moderadamente gruesa
3B <sub>w3</sub>	6.96	10.96	8.97	13.97	12.52	53.38	17.67	22.58	40.25	6.37	FA	Moderadamente gruesa
LP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4B <sub>w4</sub>	8.45	12.25	10.34	12.86	16.48	60.38	10.13	12.09	22.22	17.38	F A	Moderadamente gruesa
5A <sub>b</sub>	26.59	21.32	12.96	12.16	8.01	81.04	3.62	5.28	8.9	10.06	A F	Gruesa

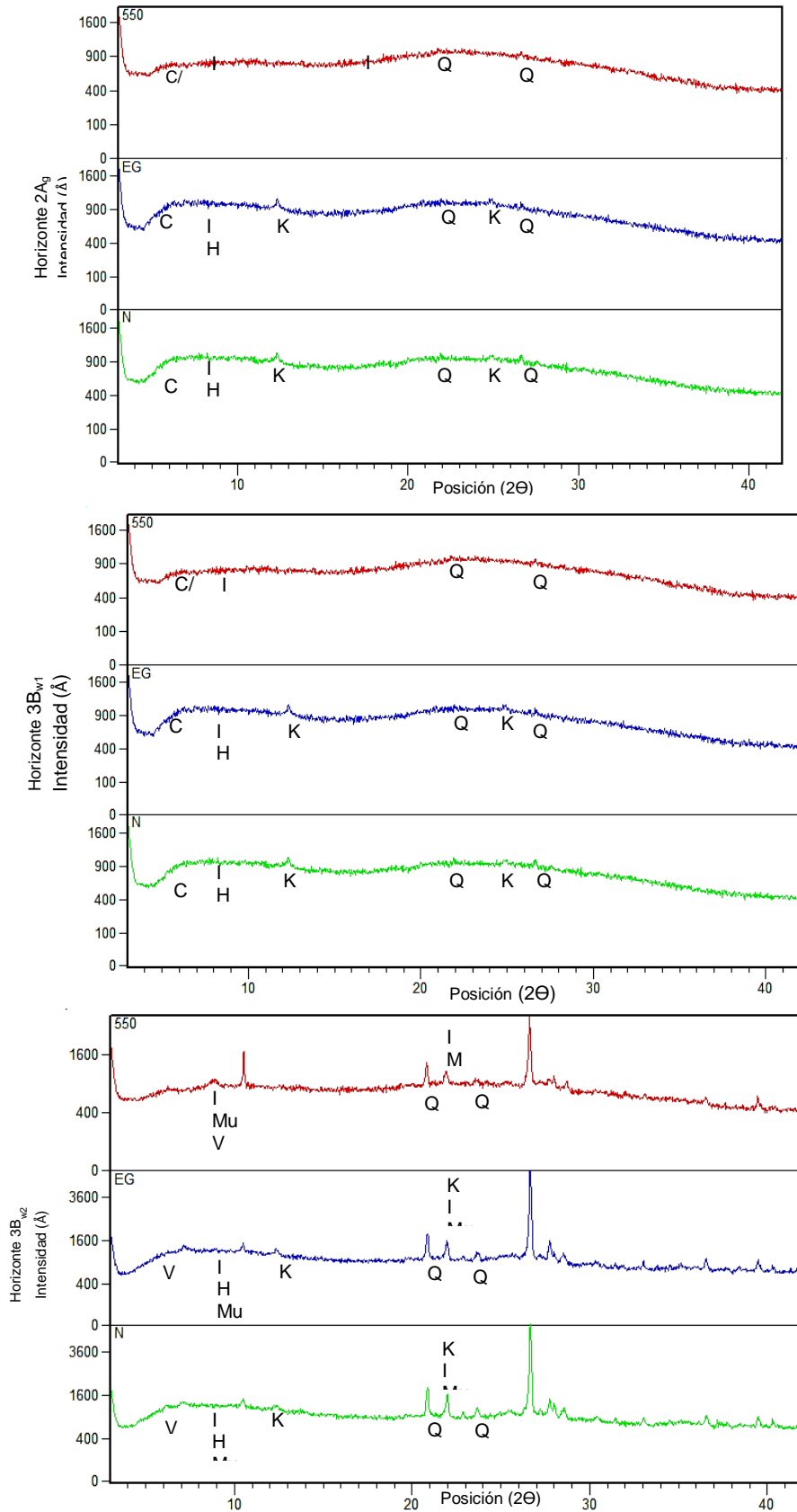
k. Propiedades Ándicas perfil III

Hz	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A	0-19	1,70	92,80	1,80	2,00	2,90
2A <sub>g</sub>	19-58	1,69	96,80	1,50	3,00	3,75
3B <sub>w1</sub>	58-95	1,80	87,10	1,80	4,20	5,10
3B <sub>w2</sub>	95-123	1,77	97,70	0,75	3,90	4,28
3B <sub>w3</sub>	123-145	-	-	-	-	-
LP	145-157	-	-	-	-	-
4B <sub>w4</sub>	157-172	1,67	97,40	3,00	3,30	4,80
5A <sub>b</sub>	172x	1,55	93,10	4,30	4,70	6,85

l. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil III empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





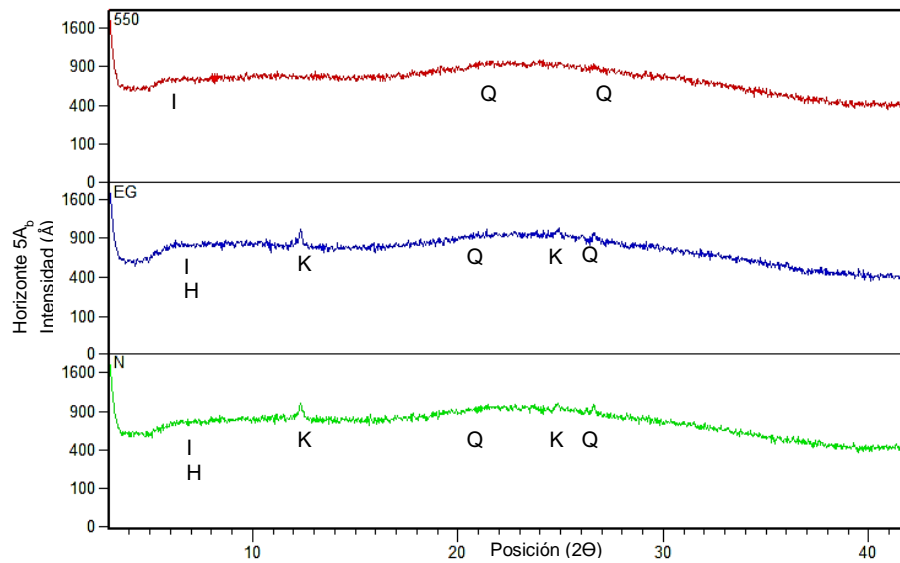
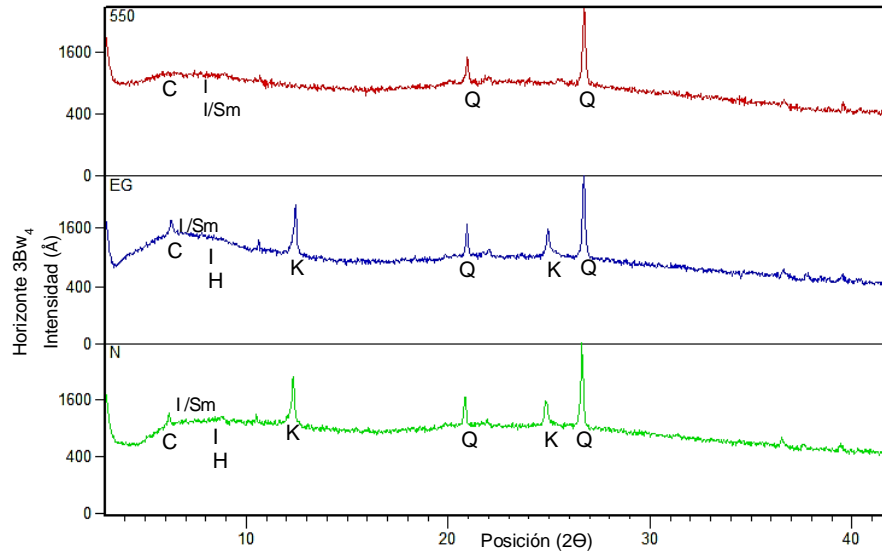






Tabla A-8. Análisis físicos perfil IV

m. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil IV

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,67	72,12	48,59
10-20	0,81	66,72	54,27
20-30	0,75	62,20	46,39
30-40		-	-
40-50		-	-
50-60		-	-
60-70		-	-
70-80		-	-
80-90		-	-
90-100		-	-

n. Textura por el método de la pipeta perfil IV

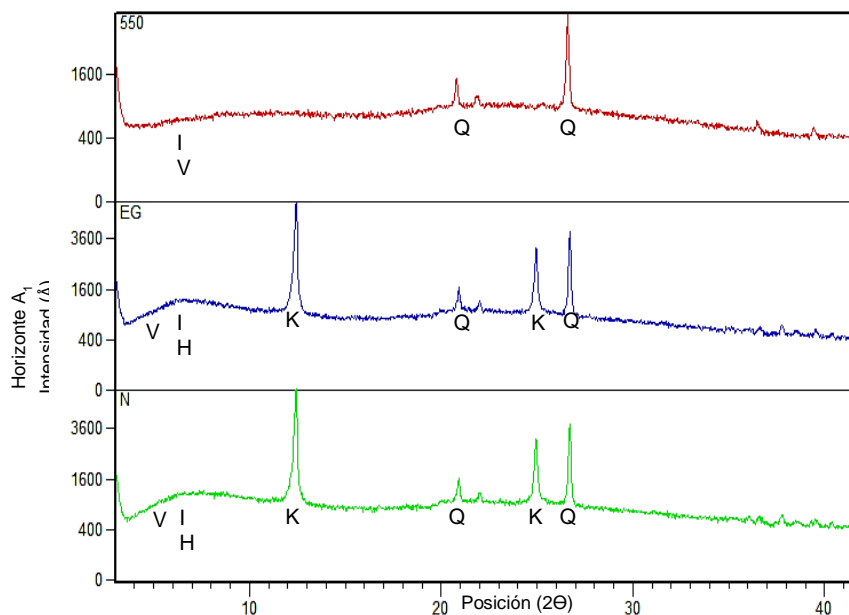
H <sub>z</sub>	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>1</sub>	14.99	6.61	3.58	2.49	2.9	30.57	3.28	21.48	24.76	44.67	Ar	Fina
A <sub>2</sub>	19.05	7	3.32	2.45	2.68	34.5	6.19	18.23	24.42	41.08	Ar	Fina
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

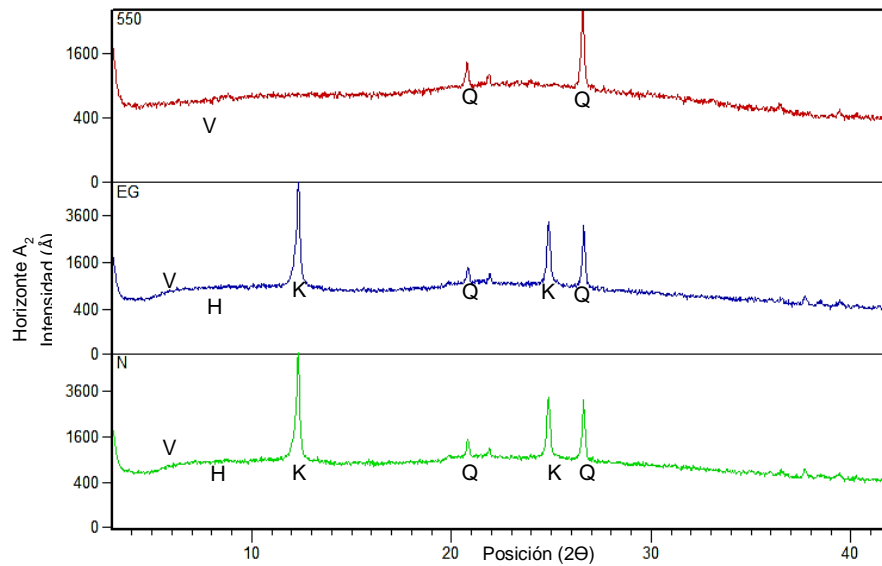
o. Propiedades Ándicas perfil IV

H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>1</sub>	0-14	1,54	84,20	1,40	1,10	1,80
A <sub>2</sub>	14-26	1,53	89,90	1,50	1,30	2,05
R	26x					0,00

p. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil IV empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





### e. Perfil V

Fecha: 4 de abril de 2014

Descrito por: Juan Carlos Loaiza Usuga, Melissa Lis Gutiérrez y Diana Jácome

Clasificación Taxonómica USDA: Pachic Melanudands

Clasificación Taxonómica FAO: Aquic Melanudands

Símbolo unidad cartográfica: MEFf

Localización: En la finca de Don Erminio, cerca del Árbol más grande junto al canal de drenaje, cerca de una roca visible y grande

Departamento: Cundinamarca

Municipio: Tausa

Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero

Coordenadas geográficas

Latitud: 5°12'32,431"N Longitud 74°1'8,851" W

Altitud: 3452 msnm

Paisaje: Montaña

Tipo de relieve: Ladera (Flanco recto)

Forma del terreno: Plano inclinado, pendiente abierta

Relieve: Ligeramente ondulado

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: 25-50%

Clima ambiental: Extremadamente Frío y húmedo.

Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm

Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino

Temperatura ambiente: 10 °C

Temperatura edáfica: 8°C

Régimen de temperatura: Isotérmico

Régimen de humedad: Udico

Tipo y grado de erosión: Hídrica.

Drenaje externo,

Drenaje interno

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró

Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.

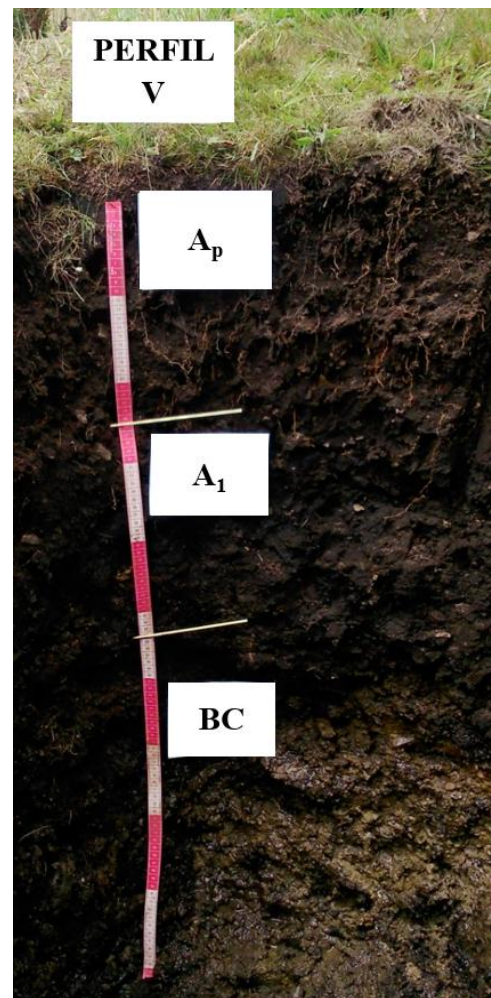
Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas

Vegetación: Pasto

Uso actual: Pastura

Limitantes del uso: Zona de conservación



<b>A<sub>p</sub></b> 0-25 cm	Color en húmedo 10YR2/1; textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios a finos, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; reacción positiva al NaF
<b>A</b> 25-53 cm	Color en húmedo 10YR3/1; textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares, gruesa a media moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajosa y plástica; pocos poros medianos; vesiculares y tubulares, imped y exped; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; fragmentos de hojas en descomposición; reacción positiva H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. Fragmentos de roca tipo cascajo sin alteración sedimentaria
<b>BC</b> 53-100x cm	Color en húmedo 5Y6/3; textura arcillosa; sin estructura (masiva); reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; reacción positiva al NaF. Fragmentos de roca tipo guijarro angulares e irregulares en 35%

**Tabla A-9. Análisis químico perfil V**

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A <sub>p</sub>	0-25	5	14	24.83	1.24	FA	105	5.56	0.17	0.71	0.15	6.59	8.25	8.24	1.66
A	25-53	5,3	9.29	16.02	0.80	FA	24.5	4.84	0.11	0.75	0.1	5.8	6.65	6.65	0.85
BC	53-100x	5,6	2.92	5.03	0.25	FArA	>116	2.54	0.05	0.29	0.19	3.07	3.07	3.07	0

**Tabla A-10. Análisis físicos perfil V**

- q. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil V

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,67	69,56	46,59
10-20	0,57	72,67	41,66
20-30	0,70	98,68	68,80
30-40	0,56	148,16	82,85
40-50	0,92	76,58	70,16
50-60	0,75	98,94	74,13
60-70	-	-	-
70-80	-	-	-
80-90	-	-	-
90-100	-	-	-

- r. Textura por el método de la pipeta perfil V

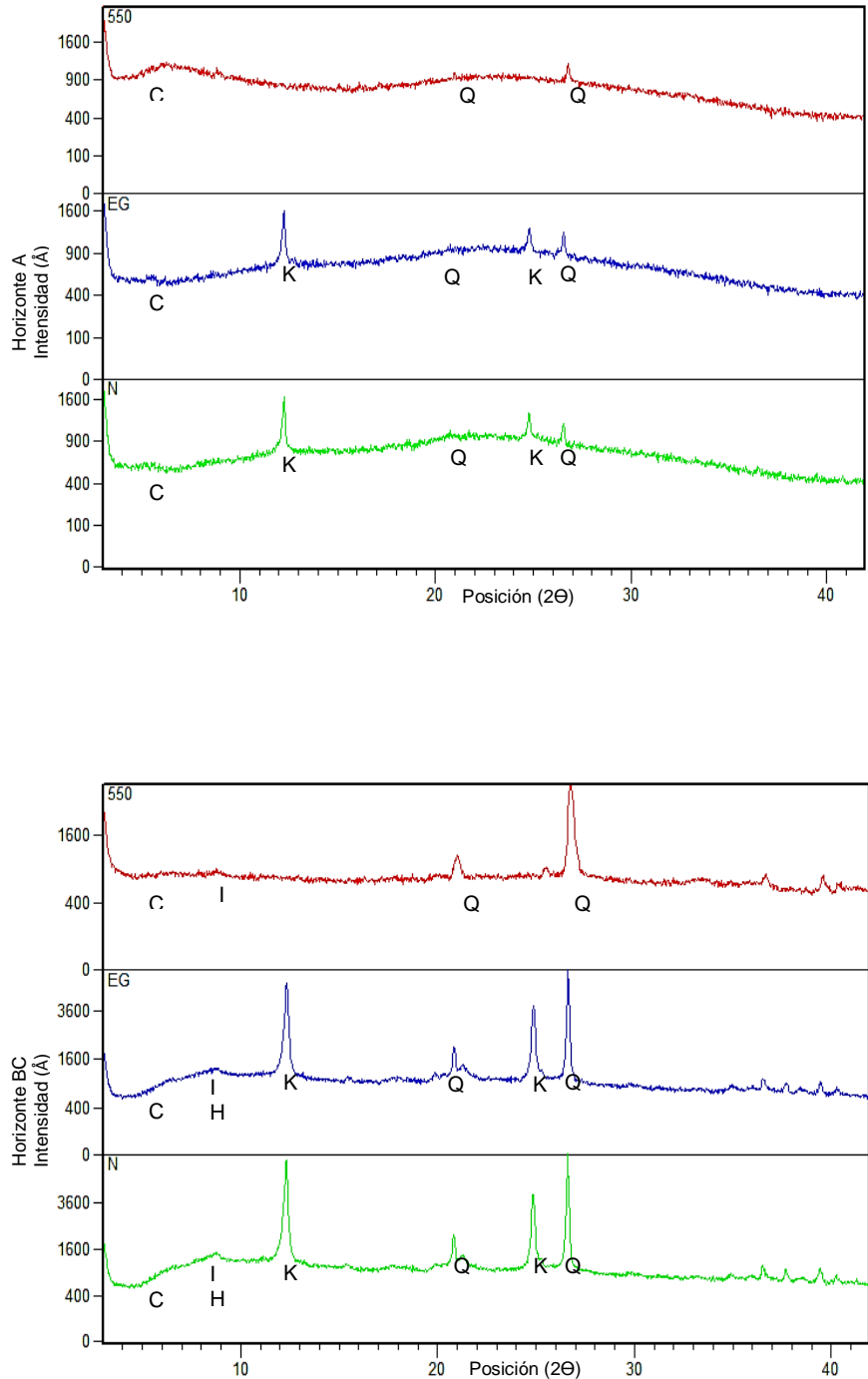
Hz	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	LG	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>p</sub>	11.14	4.77	3.8	4.49	5.79	29.99	11.98	24.83	36.81	33.2	F Ar	Moderadamente Fina
A	3.72	3.57	2.45	2.82	4.66	17.22	65.17	14.53	79.7	3.09	F L	Media
BC	17.74	9.38	6.84	7.41	8.4	49.77	9.17	16.92	26.09	24.13	F Ar A	Moderadamente Fina

- s. Propiedades Ándicas perfil V

Hz	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>p</sub>	0-25	1,64	90,00	2,70	1,10	2,45
A	25-53	1,62	97,50	5,80	1,30	4,20
BC	53-100x	1,74	66,60	0,38	0,70	0,89

t. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil V empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

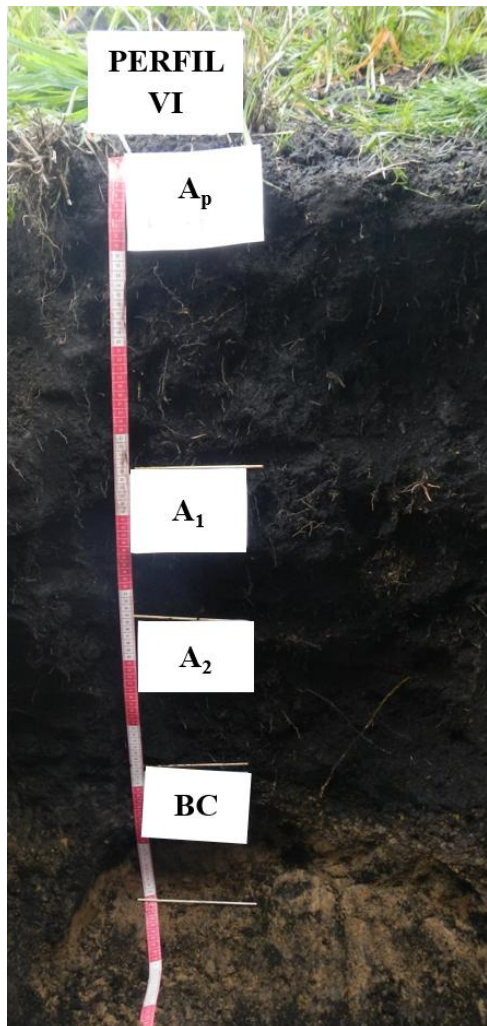
caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interstratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).



## f. Perfil VI

Fecha: 4 de abril de 2014  
 Descrito por: Yolanda Rubiano Sanabria  
 Clasificación Taxonómica USDA: Pachic Melanudands  
 Clasificación Taxonómica FAO: Aquic Melanudands  
 Símbolo unidad cartográfica: MGTd  
 Localización: Cerca de la carretera bajando de la Finca de Don Erminio  
 Departamento: Cundinamarca  
 Municipio: Tausa  
 Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero  
 Coordenadas geográficas  
 Latitud 5°12'29,861"N Longitud 74°1'15,275" W  
 Altitud: 3404 msnm  
 Paisaje: Montaña  
 Tipo de relieve: Terraza (fluviolacustre)  
 Forma del terreno: cóncavo-convexo  
 Relieve: Moderado a fuertemente ondulado  
 Material Parental: Cenizas volcánicas  
 Pendiente: 25-50%  
 Clima ambiental: Muy Frío y muy húmedo.  
 Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm  
 Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino  
 Temperatura ambiente: 10 °C  
 Temperatura edáfica: 8°C  
 Régimen de temperatura: Isotérmico  
 Régimen de humedad: Udico  
 Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar.  
 Drenaje externo,  
 Drenaje interno  
 Drenaje natural: Bien drenado.  
 Nivel freático: No se encontró  
 Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.  
 Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas  
 Vegetación: Pasto  
 Uso actual: Pastura  
 Limitantes del uso: Zona de conservación



**Ap**  
 0-34 cm  
 Color en húmedo 7,5YR2,5/1; textura medial tixotrópica; estructura en bloques subangulares finos y medios débilmente desarrollados; consistencia en húmedo muy friable y en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF

**A<sub>1</sub>**  
 34-56 cm  
 Color en húmedo 7,5YR2,5/1; textura medial tixotrópica; estructura en bloques subangulares, fina, débil que rompe a granular; consistencia en húmedo friable y en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; pocos poros medianos; vesiculares y tubulares, discontinuos, imped y exped; muchas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF

**A<sub>2</sub>**  
 56-79 cm  
 Color en húmedo 10YR2/1; textura medial tixotrópica; estructura en bloques subangulares finos y medios débilmente desarrollados; consistencia en húmedo muy friable y en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; pocas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF

Línea de roca que demarca el límite entre horizontes de 1 cm

**BC**  
 79-100x cm  
 Color en húmedo 2,5Y5/4 en un 80% y 2,5Y3/1 en un 20%; textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares finos y medios moderadamente desarrollados; consistencia en húmedo muy friable y en mojado pegajosa y ligeramente plástica; pocos poros finos, imped; pocas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; baja actividad de macroorganismos, reacción negativa al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF

Tabla A-11. Análisis químico perfil VI

H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A <sub>p</sub>	0-34	5	15	26.03	1.30	F	>116	1.39	0.89	0.28	0.12	2.68	6.77	6.78	4.09
A <sub>1</sub>	34-56	4,5	14.4	24.83	1.25	FA	>116	1.51	0.53	0.18	0.11	2.33	6.23	6.23	3.9
A <sub>2</sub>	56-79	4,7	11.6	20.00	1.00	FA	10.5	1.43	0.44	0.12	0.07	2.06	4.41	4.4	2.35
BC	79-100x	5,1	1.86	3.21	0.16	FArA	27.1	0.52	0.22	0.05	0.06	0.85	1.09	1.08	0.24

Tabla A-12. Análisis físicos perfil VI

- u. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil VI

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,77	54,76	42,15
10-20	0,67	69,31	46,33
20-30	0,72	67,12	48,16
30-40	0,62	73,23	45,18
40-50	0,67	71,15	47,87
50-60	0,75	74,78	55,82
60-70	0,98	51,67	50,64
70-80	0,93	46,22	42,94
80-90	0,66	151,31	100,03
90-100	1,04	37,18	38,75

- v. Textura por el método de la pipeta perfil VI

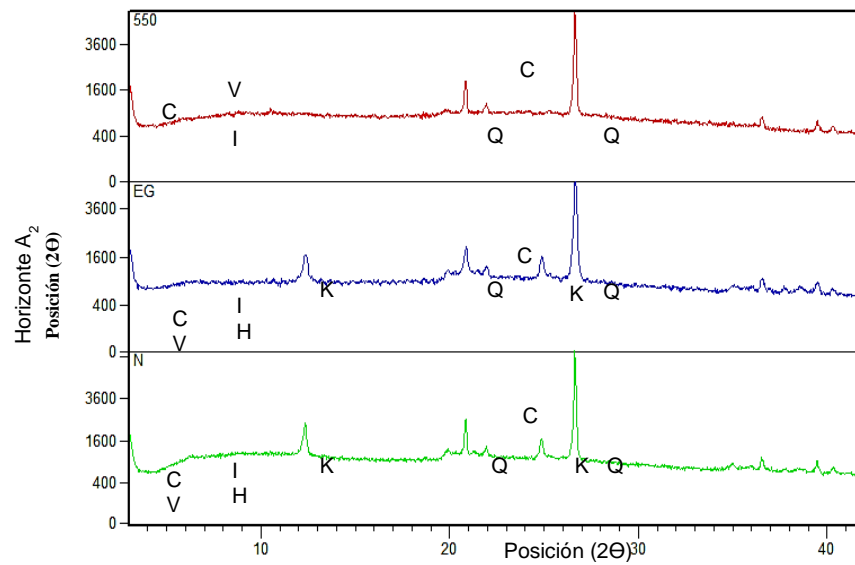
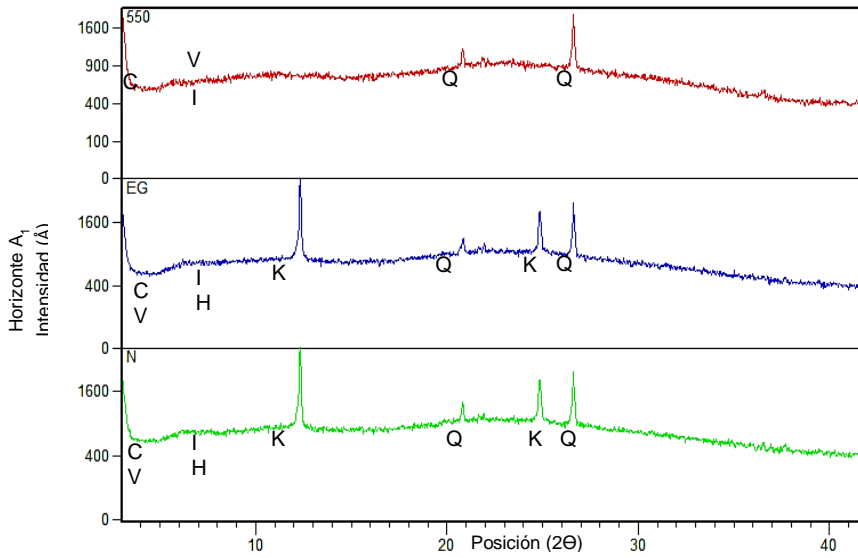
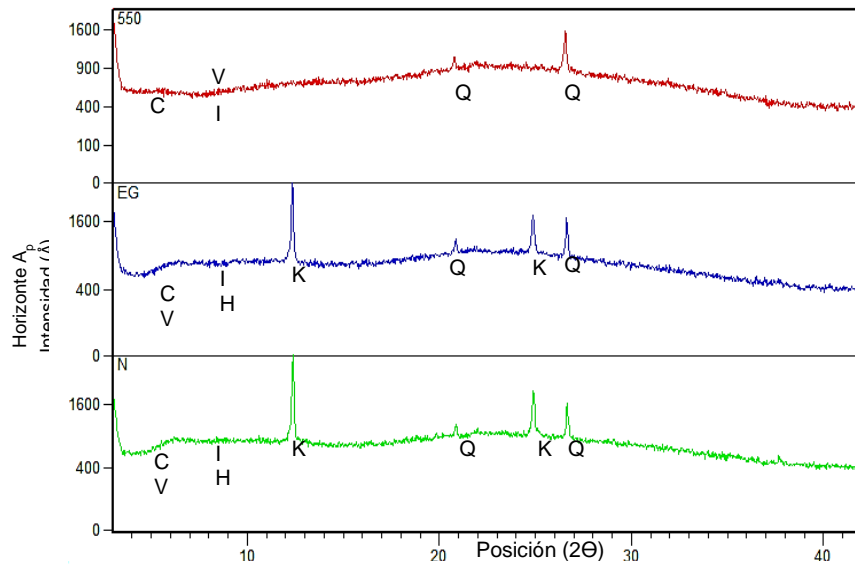
H <sub>z</sub>	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>p</sub>	3.17	1.05	0.46	1.28	4.25	10.21	16.76	28.12	44.88	44.91	Ar L	Moderadamente Fina
A <sub>1</sub>	5.63	2.38	2.54	4.87	9.25	24.67	11.66	25	36.66	38.68	F Ar	Moderadamente fina
A <sub>2</sub>	0.72	0.81	0.95	2.78	5.78	11.04	70.64	15.96	86.6	2.36	L	Media
BC	5.88	4	3.35	7.89	13.95	35.07	12.14	18.72	30.86	34.07	F Ar	Moderadamente fina

- w. Propiedades Ándicas perfil VI

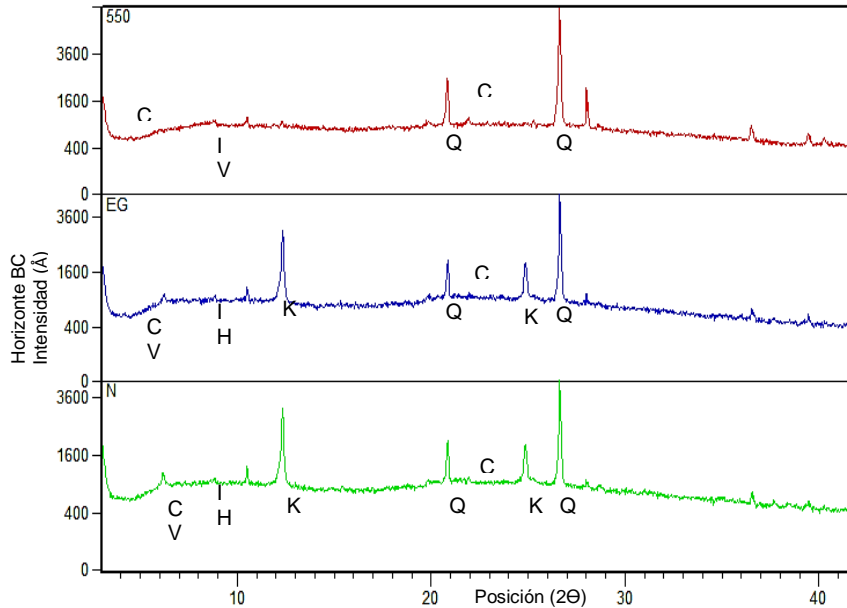
H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>p</sub>	0-34	1,53	77,50	1,60	1,80	2,60
A <sub>1</sub>	34-56	1,53	79,50	1,50	1,70	2,45
A <sub>2</sub>	56-79	1,54	97,60	2,00	2,30	3,30
BC	79-100x	1,53	98,70	0,94	1,40	1,87

- x. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil VI empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).







### g. Perfil VII

**Fecha:** 5 de abril de 2014

**Descrito por:** Juan Carlos Loaiza Usuga, Melissa Lis Gutiérrez y Diana Jácome

**Clasificación Taxonómica USDA:** Pachic Melanudands

**Clasificación Taxonómica FAO:** Aquic Melanudands

**Símbolo unidad cartográfica:** MGTd

**Localización:** En medio de una zona de Bosque de Encenillos

Departamento: Cundinamarca

Municipio: Tausa

Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero

**Coordenadas geográficas**

Latitud 5°12'31,403"N Longitud 74°1'26,068" W

Altitud: 3462 msnm

Paisaje: Montaña

Tipo de relieve: Terraza (fluviolacustre)

Forma del terreno: Cóncavo

Relieve: Plano inclinado

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: 25-50%

Clima ambiental: Muy Frío y muy húmedo.

Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm

Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino

Temperatura ambiente: 10 °C

Temperatura edáfica: 8°C

Régimen de temperatura: Isotérmico

Régimen de humedad: Udico

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar.

Drenaje externo,

Drenaje interno

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró

Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.

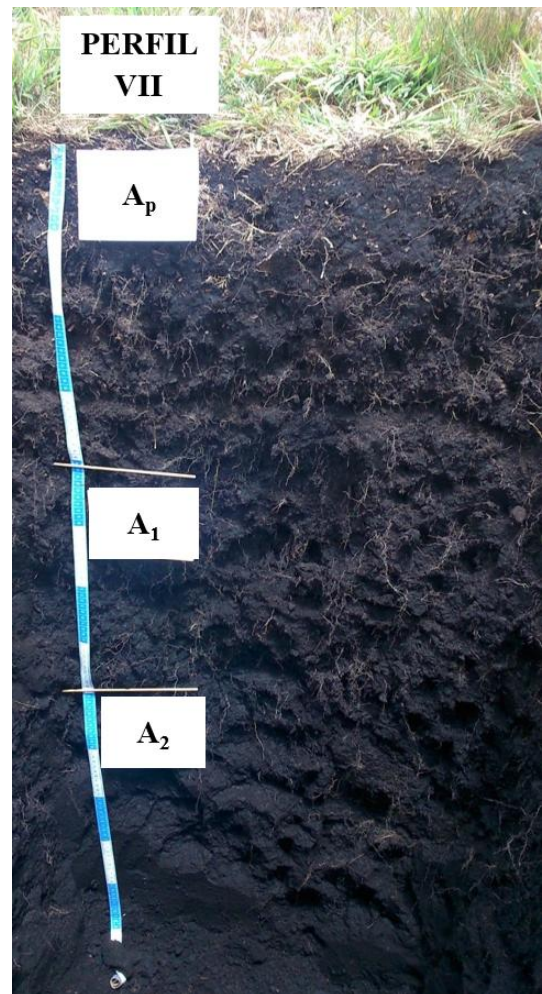
Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas

Vegetación: Pasto

Uso actual: Pastura

Limitantes del uso: Zona de conservación



<b>A<sub>p</sub></b> 0-41 cm	Color en húmedo 10YR2/1; textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares, gruesos a medios fuertemente desarrollados; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa y plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. Fragmentos de roca tipo cascajo, angulares y subredondeados, medianos y frecuentes, con grado medio de alteración.
<b>A<sub>1</sub></b> 41-79 cm	Color en húmedo 7,5Y2,5/1; textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderadamente desarrollados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; pocos poros medianos; vesiculares y tubulares, discontinuos, imped y exped; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF.
<b>A<sub>2</sub></b> 79-132 cm	Color en húmedo 7,5Y2,5/1; textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares, gruesos a medios fuertemente desarrollados; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros finos y medio, vesiculares, continuos, imped; pocas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. Fragmentos de roca tipo gravilla, angulares, medianos con grado medio de alteración
<b>AB</b> 132-172 cm	Color en húmedo 10YR7/3 en un 80% y 10YR3/4 en un 20%; textura arcillosa; consistencia en mojado muy pegajosa y plástica; poca actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF.
<b>B<sub>w</sub></b> 172-222x cm	Color en húmedo 10YR4/3; textura arcillosa; consistencia en mojado muy pegajosa y muy plástica; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF.

**Tabla A-13. Análisis químicos perfil VII**

H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A <sub>p</sub>	0-41	5	15	25.17	1.26	FA	>116	2.87	0.48	0.33	0.06	3.74	6.64	6.64	2.9
A <sub>1</sub>	41-79	4,9	15	25.86	1.30	FA	104	1.7	0.15	0.31	0.07	2.23	5.23	5.23	3
A <sub>2</sub>	79-132	4,9	13.8	23.79	1.19	AF	2.74	0.42	0.13	0.13	0.06	0.74	3.33	2.34	2.59
AB	132-172	4,9	8.9	15.34	2.19	AF	2.03	0.35	0.09	0.07	0.05	0.56	2.97	1.98	2.41
B <sub>w</sub>	172-222x	5	6,2	10.69	3.19	AF	1,86	0,25	0,15	0,24	0,05	0,69	2,03	0,99	1,34

**Tabla A-14. Análisis físicos perfil VII**

y. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil VII

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,75	71,69	53,44
10-20	0,81	57,70	47,02
20-30	0,80	60,31	48,02
30-40	0,69	72,53	49,81
40-50	0,73	76,82	56,43
50-60	0,72	88,27	63,62
60-70	0,64	95,50	61,34
70-80	0,60	119,41	71,93
80-90	0,64	121,88	77,72
90-100	0,60	122,01	72,83

z. Textura por el método de la pipeta perfil VII

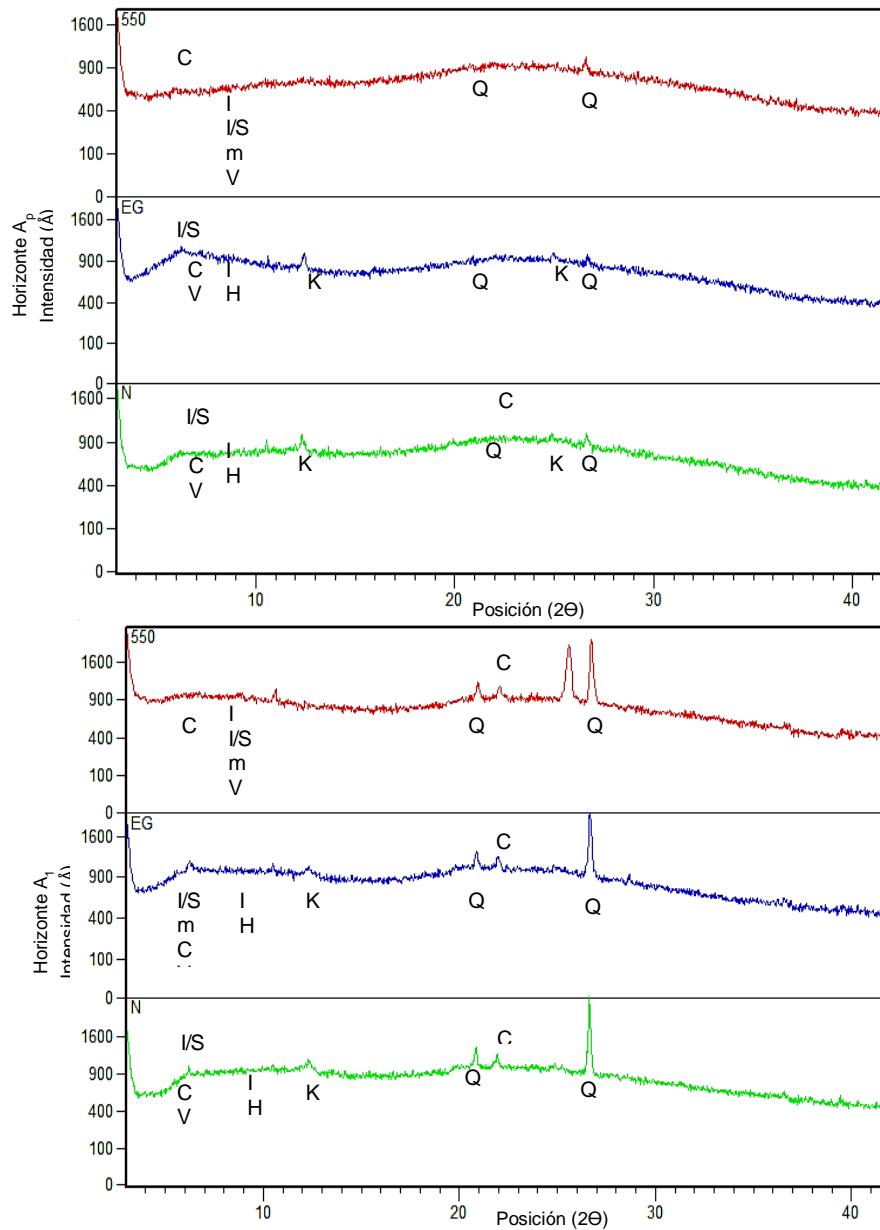
H <sub>z</sub>	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>p</sub>	5.18	1.48	2.09	6.36	11.67	26.78	7.68	25.56	33.24	39.98	F Ar	Moderadamente Fina
A <sub>1</sub>	0.72	0.85	0.96	5.88	12.75	21.16	12.1	47.9	60	18.85	F L	Media
A <sub>2</sub>	0.49	0.65	1.28	4.15	9.25	15.82	11.14	37.79	48.93	35.25	F Ar L	Moderadamente Fina
AB	0.6	0.83	1.35	4.32	11.22	18.32	23.58	27.71	51.29	6.37	F Ar L	Moderadamente Fina
B <sub>w</sub>	3.45	2.22	3.55	7.98	35.03	52.23	18.7	19.48	38.18	6.37	FA	Moderadamente gruesa

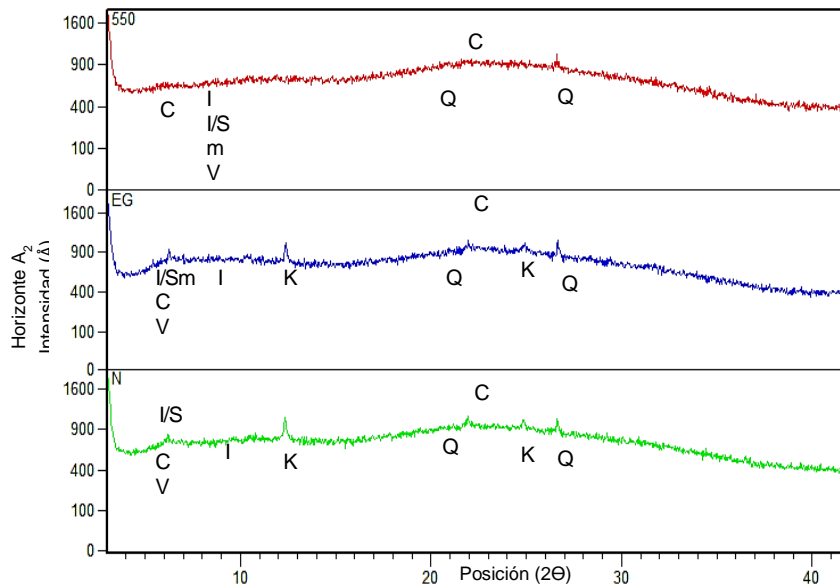
aa. Propiedades Ándicas

H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>p</sub>	0-41	1,52	91,20	1,10	1,80	2,35
A <sub>1</sub>	41-79	1,54	90,00	1,20	1,90	2,50
A <sub>2</sub>	79-132	1,53	99,10	1,00	2,50	3,00
AB	132-172					0,00
B <sub>w</sub>	172-222x					0,00

bb. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil VII empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

7caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interstratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





### h. Perfil VIII

**Fecha:** 5 de abril de 2014

**Descrito por:** Juan Carlos Loiza Usuga, Melissa Lis Gutiérrez y Diana Jácome

**Clasificación Taxonómica USDA:** Pachic Melanudands

**Clasificación Taxonómica FAO:** Aquic Melanudands

**Símbolo unidad cartográfica:** MGTd

**Localización:** En medio de una zona de Bosque de Encenillos

Departamento: Cundinamarca

Municipio: Tausa

Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero

**Coordenadas geográficas**

Latitud 5°12'31,403"N Longitud 74°1'26,068" W

Altitud: 3462 msnm

Paisaje: Montaña

Tipo de relieve: Terraza (fluviolacustre)

Forma del terreno: Plano

Relieve: Plano inclinado

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: 0-3%

Clima ambiental: Muy Frío y muy húmedo.

Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm

Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino

Temperatura ambiente: 10 °C

Temperatura edáfica: 8°C

Régimen de temperatura: Isotérmico

Régimen de humedad: Udico

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar.

Drenaje externo,

Drenaje interno

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró

Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.

Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas

Vegetación: Bosque

Uso actual: Sin uso

Limitantes del uso: Zona de conservación



- A**  
0-63 cm Color en húmedo 10YR2/1; textura medial tixotrópica; estructura bloques subangulares gruesos fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. pH con potenciómetro 5,7.
- A<sub>1</sub>**  
63-90 cm Color en húmedo 10YR2/1; textura medial tixotrópica; estructura en bloques angulares medianos y gruesos fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muchos poros medianos; vesiculares y tubulares, continuos, imped y exped; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> positiva; reacción positiva al NaF; pH con potenciómetro 6,22
- A<sub>2</sub>**  
90-105 cm Color en húmedo 10YR2/1 en un 95% y 10YR3/3 en un 5%; textura medial tixotrópica; estructura bloques angulares gruesos fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. pH con potenciómetro 6,09
- AB**  
105-170 cm Color en húmedo 7,5YR2, 5/3; textura arcillosa; estructura bloques subangulares gruesos fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; pocas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; reacción negativa al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. pH con potenciómetro 6,43. Línea de piedra de 1cm de espesor
- C**  
171-230x cm

**Tabla A-15. Análisis químico perfil VIII**

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A	0-63	5	17	29.83	1.49	FA	25.7	0.42	0.36	0.25	0.08	1.11	4.09	4.08	2.98
A <sub>1</sub>	63-90	5	10.9	18.79	0.94	AF	2.5	0.18	0.09	0.04	0.07	0.38	0.96	0.97	0.58
A <sub>2</sub>	90-105	5	6.08	10.48	0.59	AF	1.78	0.22	0.09	0.03	0.07	0.41	0.72	0.72	0.31
B <sub>w</sub>	105-170	5,1	5.1	8.79	0.44	AF	2.26	0.21	0.12	0.05	0.07	0.45	0.64	0.64	0.19

**Tabla A-16. Análisis físicos perfil VIII**

cc. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil VIII

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,46	106,35	48,42
10-20	0,55	105,46	57,82
20-30	0,59	110,35	65,62
30-40	0,50	120,81	60,55
40-50	0,46	134,72	61,89
50-60	0,45	142,45	63,99
60-70	0,52	134,99	69,71
70-80	0,53	122,00	64,40
80-90	0,60	105,60	63,78
90-100	0,63	109,19	68,25

dd. Textura por el método de la pipeta perfil VIII

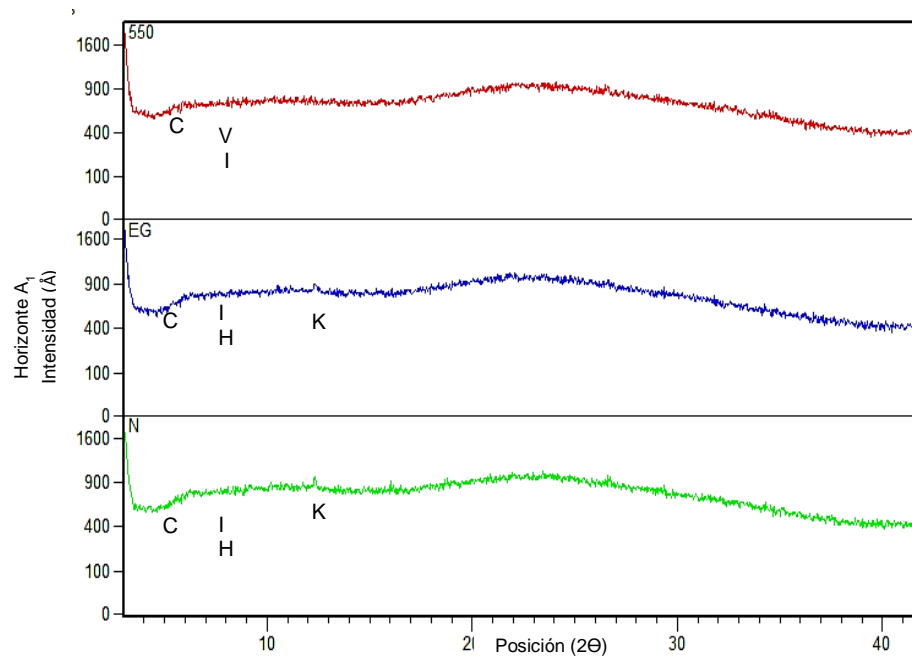
H <sub>z</sub>	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
<b>A</b>	0.3	0.27	0.63	3.59	9.62	14.41	11.95	39.92	51.87	33.73	F Ar L	Moderadamente Fina
<b>A1</b>	2.67	8.13	12.18	21.75	19.68	64.41	12.62	15.43	28.05	7.53	F A	Moderadamente gruesa
<b>A2</b>	5.5	8.68	7.35	10.8	12.24	44.57	9.61	27.03	36.64	18.78	F	Media
<b>Bw</b>	10.94	10.27	7.54	12.2	13.81	54.76	16.62	16	32.62	12.61	F A	Moderadamente gruesa

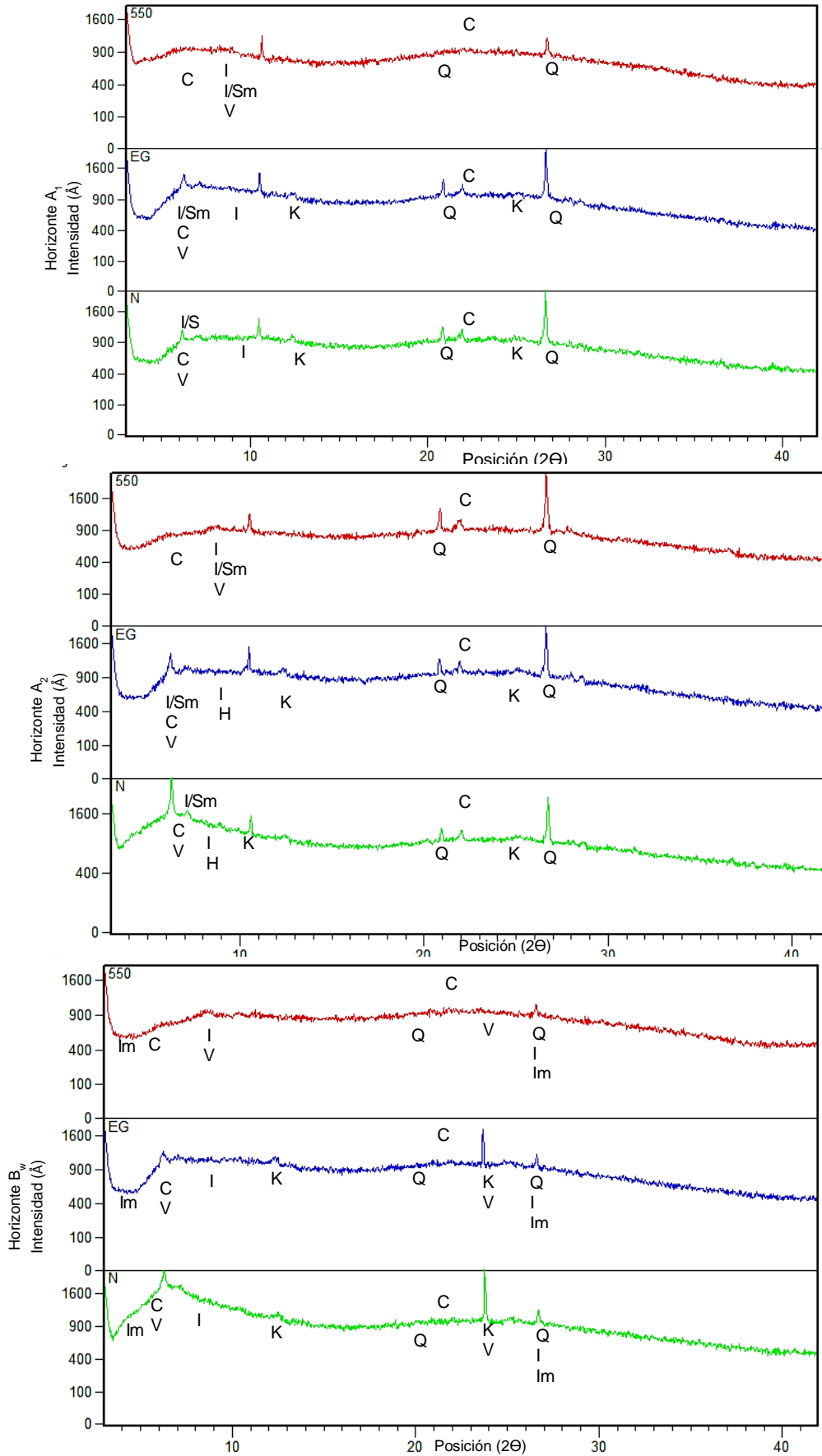
ee. Propiedades Ándicas perfil VIII

H <sub>z</sub>	Profundidad cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
<b>A</b>	<b>0-63</b>	1,55	87,30	1,00	2,00	2,50
<b>A1</b>	<b>63-90</b>	1,53	98,10	0,86	3,30	3,73
<b>A2</b>	<b>90-105</b>	1,57	99,60	1,20	4,00	4,60
<b>Bw</b>	<b>105-170</b>	1,60	100,00	2,50	4,20	5,45

ff. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil VII empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).





## i. Perfil IX

**Fecha:** 5 de abril de 2014

**Descrito por:** Juan Carlos Loaiza Usuga y Diego Camilo Peña Quemba

**Clasificación Taxonómica USDA:** Pachic Melanudands

**Clasificación Taxonómica FAO:** Aquic Melanudands

**Símbolo unidad cartográfica:** MGTd

**Localización:** En medio de una zona de Bosque de Encenillos

Departamento: Cundinamarca

Municipio: Tausa

Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero

**Coordenadas geográficas**

Latitud 5°12'3,649"N Longitud 74°1'41,744" W

Altitud: 3437 msnm

Paisaje: Montaña

Tipo de relieve: Colina (fluvioacustre)

Forma del terreno: Flanco

Relieve: Plano inclinado

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: 12-25%

Clima ambiental: Muy Frío y muy húmedo.

Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm

Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino

Temperatura ambiente: 10 °C

Temperatura edáfica: 8°C

Régimen de temperatura: Isotérmico

Régimen de humedad: Udico

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar.

Drenaje externo,

Drenaje interno

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró

Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.

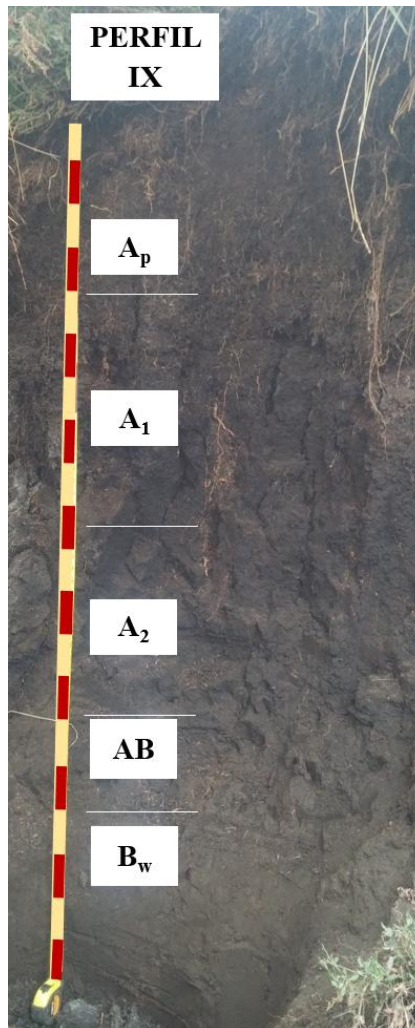
Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas

Vegetación:

Uso actual: Agrícola

Limitantes del uso: Zona de conservación



<b>A<sub>p</sub></b> 0-40 cm	Color en húmedo 10YR2/2; textura franca; estructura migajosa moderada y fina; consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa y no plástica; muchos poros finos y medianos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal, en grietas; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF Fragmentos de roca angulares, irregulares, subredondeados, sin alteración, sedimentaria.
<b>A<sub>1</sub></b> 40-95 cm	Color en húmedo 10YR2/1 en un 90% y 10YR3/1 en un 10%; textura francolimosa; estructura prismática gruesa moderada y fuerte; consistencia en húmedo firme, en mojado no pegajosa y no plástica; frecuentes poros finos y medianos; vesiculares y tubulares, continuos, exped; pocas raíces finas y medianas, muertas, de distribución normal; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF
<b>A<sub>2</sub></b> 95-140 cm	Color en húmedo 10YR2/1; textura franca; estructura en bloques subangulares, fina y media débilmente desarrollados; consistencia en húmedo firme, en mojado no pegajosa y plástica; muchos poros finos y medianos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, muertas, de distribución normal, en grietas; poca actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF
<b>AB</b> 140-160 cm	Color en húmedo 10YR2/1 en un 90% y 10YR3/3 en un 10%; textura franca; estructura en bloques subangulares y prismas; consistencia en húmedo firma, en mojado no pegajosa y plástica; pocos poros finos y medianos, vesiculares, continuos, imped; pocas raíces finas, muertas, de distribución normal, en grietas; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva al NaF Frecuentes y abundantes granos de cuarzo, arena fina mineral, blancuzco recubierto de óxidos de hierro y breves canales de raíces recubiertos de materia orgánica



- C** Color en húmedo 10YR3/2 en un 90% y 7,5YR3/4 en un 10%, estructura en bloques subangulares y prismas; consistencia en húmedo firme, en mojado no pegajosa y plástica; pocos poros finos y medianos, vesiculares, continuos, imped; pocas raíces finas, muertas, de distribución normal, en grietas; frecuente actividad de macroorganismos; reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva al NaF. Canales de raíces recubiertos de materia orgánica y frecuentes granos de arena fina

**Tabla A-17. Análisis químico perfil IX**

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%CO	%CO	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A <sub>p</sub>	0-40	4	15	26.55	1.33	FA	29.2	1.33	0.17	0.17	0.09	1.76	6.31	6.3	4.55
A <sub>1</sub>	40-95	4,5	14.8	25.52	1.28	AF	9.01	0.61	0.07	0.04	0.09	0.81	3.63	3.62	2.82
A <sub>2</sub>	95-140	4,6	6.86	11.83	0.59	AF	3.04	0.25	0.06	0.02	0.05	0.38	0.72	0.72	0.34
AB	140-160	4,5	5.7	9.83	0.49	AF	2.04	0.25	0.08	0.03	0.06	0.42	0.9	0.89	0.48
B <sub>w</sub>	160-205x	4,6	4.92	8.48	0.42	AF	2.28	0.25	0.08	0.01	0.06	0.4	0.68	0.68	0.28

**Tabla A-18. Análisis físicos perfil IX**

gg. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil IX

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
0-10	0,49	36,44	17,68
10-20	0,49	46,00	22,39
20-30	0,52	46,09	23,79
30-40	0,51	52,41	26,81
40-50	0,55	50,50	27,64
50-60	0,54	55,48	30,11
60-70	0,52	59,63	31,29
70-80	0,55	82,59	45,80
80-90	0,53	97,03	51,21
90-100	0,51	99,09	50,91

hh. Textura por el método de la pipeta perfil IX

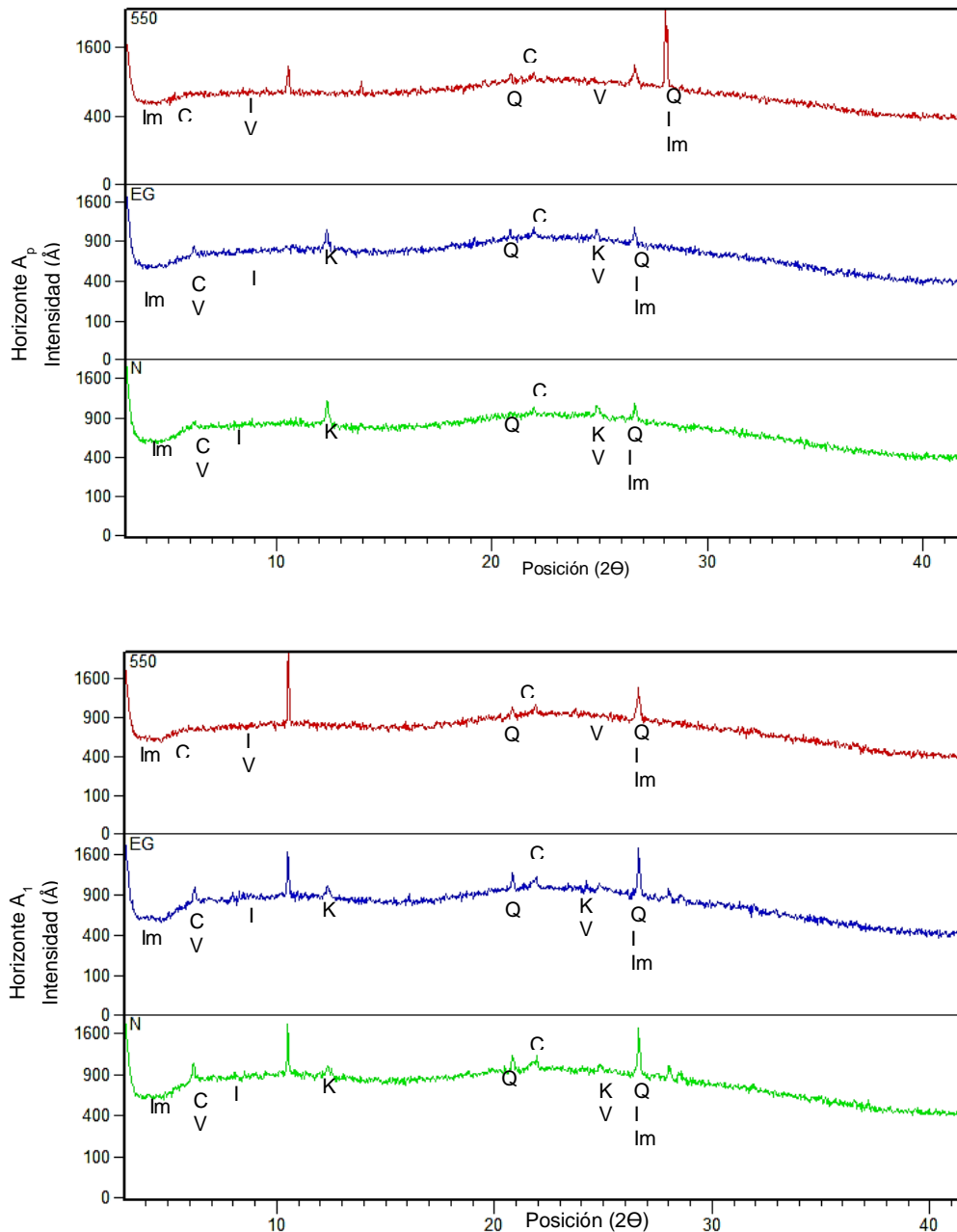
Hz	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	L G	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>p</sub>	1.6	0.58	0.99	4.85	11.34	19.36	15.5	35.41	50.91	29.72	F Ar L	Moderadamente Fina
A <sub>1</sub>	0.53	0.6	0.92	4.09	10.73	16.87	14.26	36.18	50.44	32.7	F Ar L	Moderadamente Fina
A <sub>2</sub>	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	12.37	F Ar A	Moderadamente Fina
AB	11.54	10.3	6.99	9.98	11.39	50.2	13.76	17.9	31.66	18.14	F	Media
B <sub>w</sub>	12.69	15.38	9.94	11.8	12.03	61.84	9	11.51	20.51	17.64	F A	Moderadamente gruesa

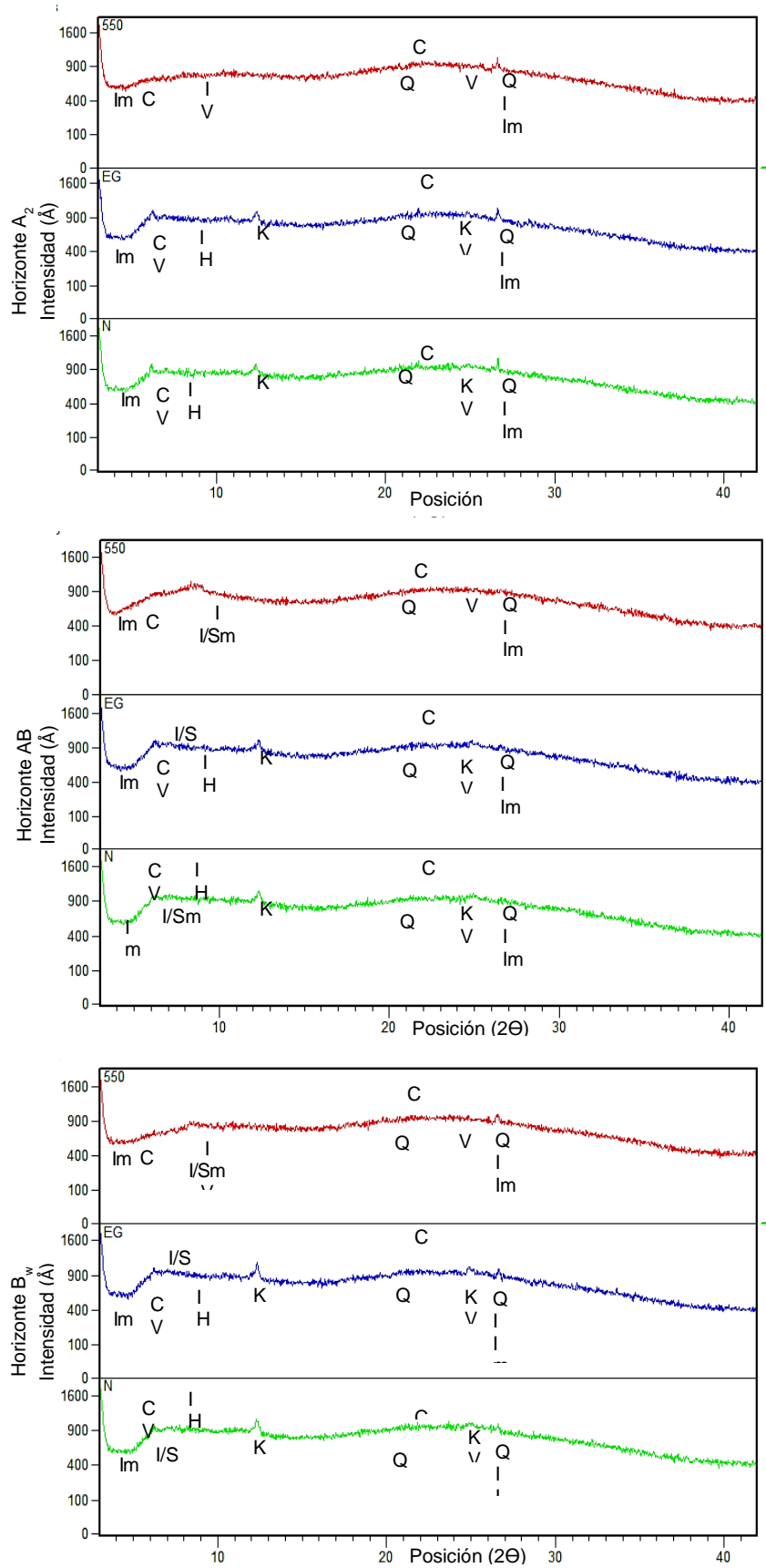
ii. Propiedades Ándicas perfil IX

Hz	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>p</sub>	0-40	1,55	91,60	1,20	2,00	2,60
A <sub>1</sub>	40-95	1,52	93,90	1,40	2,60	3,30
A <sub>2</sub>	95-140	1,56	91,70	0,82	3,90	4,31
AB	140-160	1,57	98,70	0,56	4,10	4,38
B <sub>w</sub>	160-205x	1,61	100,00	0,58	4,00	4,29

jj. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil VII empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interstratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogilita (Im).





## j. Perfil X

**Descrito por:** Yolanda Rubiano Sanabria

**Clasificación Taxonómica USDA:** Pachic Melanudands

**Clasificación Taxonómica FAO:** Aquic Melanudands

**Símbolo unidad cartográfica:** MGFF

**Localización:** En medio de una zona de Bosque de Encenillos

Departamento: Cundinamarca

Municipio: Tausa

Vereda San Antonio-Páramo de Guerrero

**Coordenadas geográficas**

Latitud 5°11'46,945"N Longitud 74°1'20,158" W

Altitud: 3369 msnm

Paisaje: Montaña

Tipo de relieve: Plano lacustre

Forma del terreno: Flanco

Relieve: Plano inclinado

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: 12-25%

Clima ambiental: Muy Frío y húmedo.

Precipitación promedio anual: 500 - 1100 mm

Zona de Holdridge: Páramo bajo o alto andino

Temperatura ambiente: 10 °C

Temperatura edáfica: 8°C

Régimen de temperatura: Isotérmico

Régimen de humedad: Udico

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar.

Drenaje externo,

Drenaje interno

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró

Inundaciones: Flujo de agua a los 63 cm por drenaje de lotes vecinos.

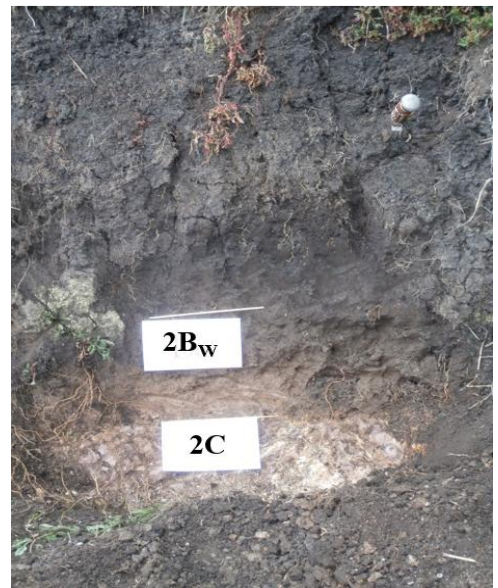
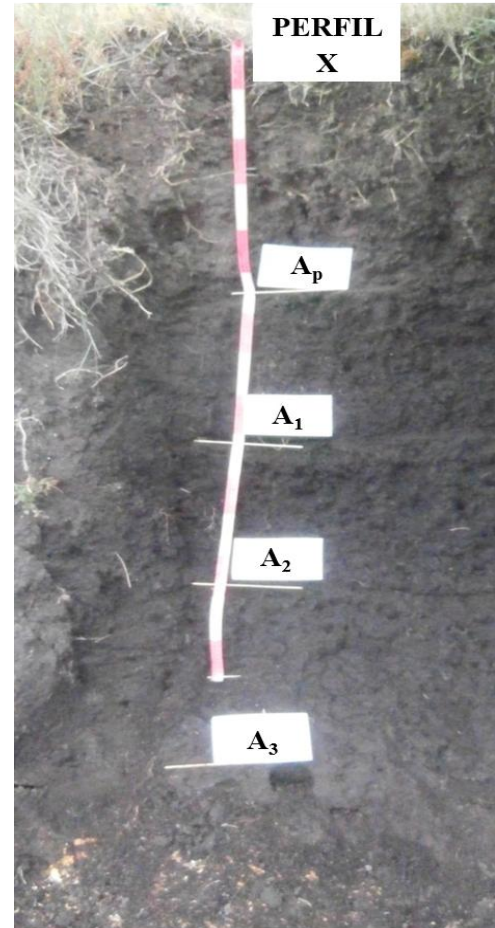
Horizontes diagnósticos: Melánico y Cámbrico

Otras características diagnósticas

Vegetación: Pasto

Uso actual: Pastura

Limitantes del uso: Zona de conservación



**A<sub>p</sub>**  
0-55 cm

Color en húmedo 10YR2/2; textura medial tixotrópica; estructura migajosa muy moderada y fina débilmente desarrollada; consistencia en húmedo muy friable, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF Presencia de gravilla irregular sin alteración

<b>A<sub>1</sub></b> 55-92 cm	Color en húmedo 10YR2/1; textura medial tixotrópica; estructura en bloques subangulares moderada y fina; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF
<b>A<sub>2</sub></b> 92-127 cm	Color en húmedo 10YR2/1; textura medial tixotrópica; estructura bloques angulares media y gruesa fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo muy friable, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF
<b>A<sub>3</sub></b> 127-168 cm	Color en húmedo 10YR2/2; textura medial tixotrópica; estructura bloques angulares media y gruesa fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo muy firme, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos, reacción positiva al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF
<b>C</b> 168-209 cm	Color en húmedo 10YR4/3 en un 80% y 10YR3/2 en un 20%; textura franco arcillosa; estructura bloques angulares media y gruesa fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo muy firme, en mojado ligeramente pegajosa y no plástica; muchos poros finos, medianos y gruesos, vesiculares, continuos, imped; muchas raíces medianas, finas, vivas, de distribución normal; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF
<b>2C</b> 209-264x cm	Color en húmedo 10YR5/4 en un 80% y 10YR6/1 en un 20%; reacción negativa al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y reacción positiva; al NaF Presencia de mucho cascajo irregular fuertemente alterado

Tabla A-19. Análisis químico perfil X

Hz	Profundidad (cm)	pH	%CO	%MO	%N	Textura bouyoucos	P	Ca	K	Mg	Na	SB	CIC	CICE	AI
A <sub>p</sub>	0-55	5	11	18.10	0.91	FArA	>116	4.34	1.08	0.5	0.06	5.98	8.78	8.77	2.8
A <sub>1</sub>	55-92	4,4	13	22.41	1.12	FArA	82	1.96	0.59	0.14	0.08	2.77	6.68	6.67	3.91
A <sub>2</sub>	92-127	4,4	13.7	23.62	1.18	FArA	12.5	0.68	0.41	0.1	0.05	1.24	5.94	5.94	4.7
A <sub>3</sub>	127-168	4,8	10	17.24	0.86	FArA	7.1	0.31	0.29	0.04	0.05	0.69	3.04	3.04	2.35
2B <sub>w</sub>	168-209	5,1	2.86	4.93	0.25	Ar	1.82	0.54	0.21	0.08	0.06	0.89	6.49	6.49	5.6

Tabla A-20. Análisis físicos perfil X

kk. Densidad aparente, Humedad gravimétrica y volumétrica a lo largo del perfil hasta 100 cm de profundidad perfil X

Profundidad (cm)	Densidad Aparente	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
<b>0-10</b>	0,77	28,45	21,78
<b>10-20</b>	0,68	30,81	20,82
<b>20-30</b>	0,91	21,28	19,29
<b>30-40</b>	0,87	32,01	27,79
<b>40-50</b>	0,87	40,75	35,43
<b>50-60</b>	0,77	53,66	41,25
<b>60-70</b>	0,81	56,22	45,49
<b>70-80</b>	0,82	66,86	54,78
<b>80-90</b>	0,67	78,96	52,76
<b>90-100</b>	0,78	79,10	61,60

## II. Textura por el método de la pipeta perfil X

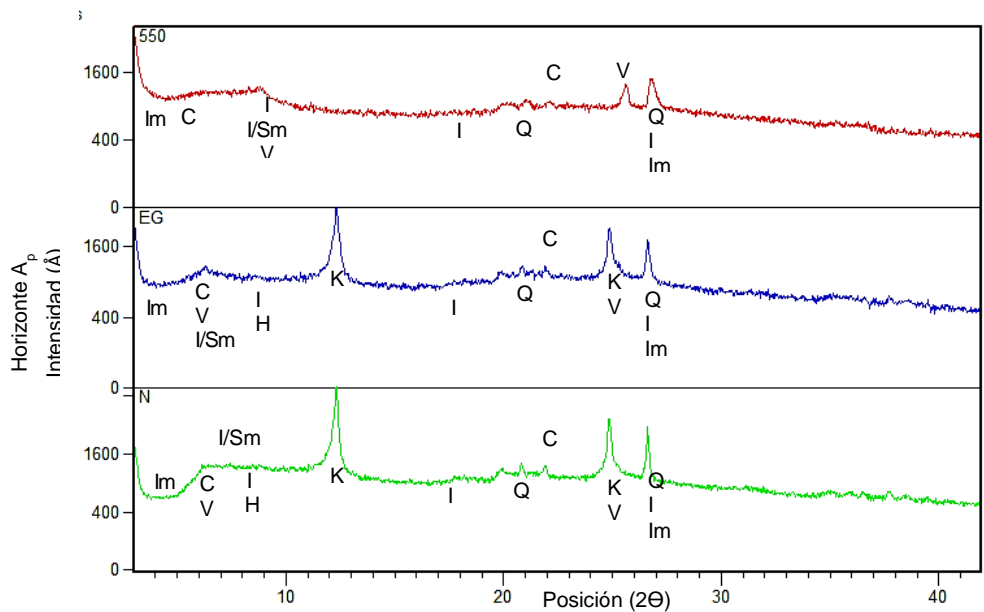
H <sub>z</sub>	A MG	A G	A M	A F	A MF	TA	LG	LF	TL	Ar	Clasificación	Clase textural
A <sub>p</sub>	0.14	0.18	0.63	3.7	8.48	13.13	11.94	31.53	43.47	43.4	Ar L	Fina
A <sub>1</sub>	1.02	0.5	2.02	5.42	6.29	15.25	10.06	27.08	37.14	47.62	Ar	Fina
A <sub>2</sub>	0.06	0.12	0.53	2.92	7.68	11.31	13.27	25.58	38.85	49.84	Ar	Fina
A <sub>3</sub>	0.17	0.19	0.54	3.1	7.28	11.28	12.48	33.5	45.98	42.73	Ar L	Fina
2B <sub>w</sub>	2.4	0.91	1.26	3.66	6.35	14.58	10.22	31.31	41.53	43.89	Ar L	Fina

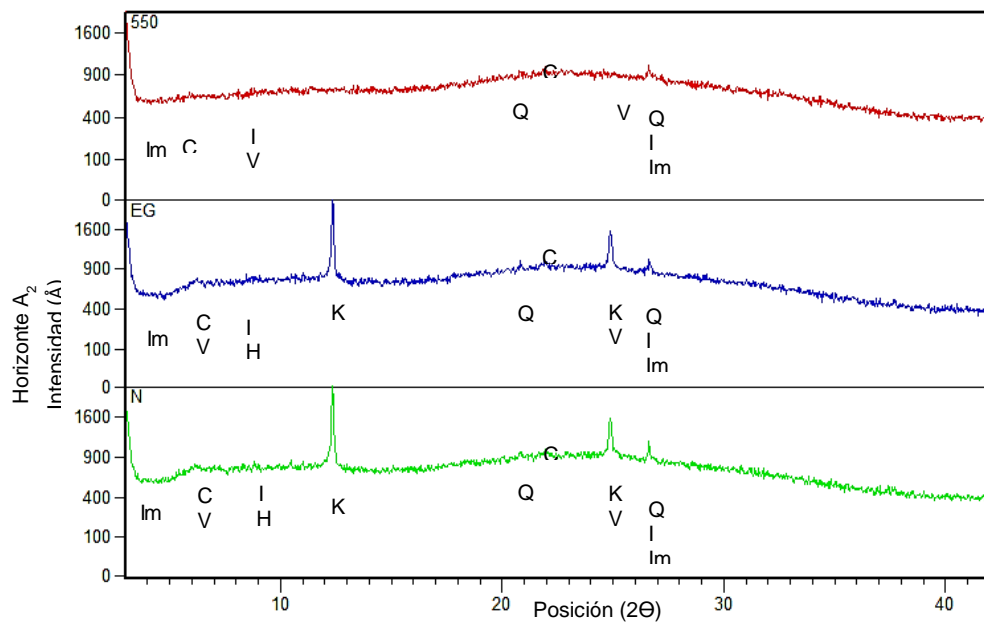
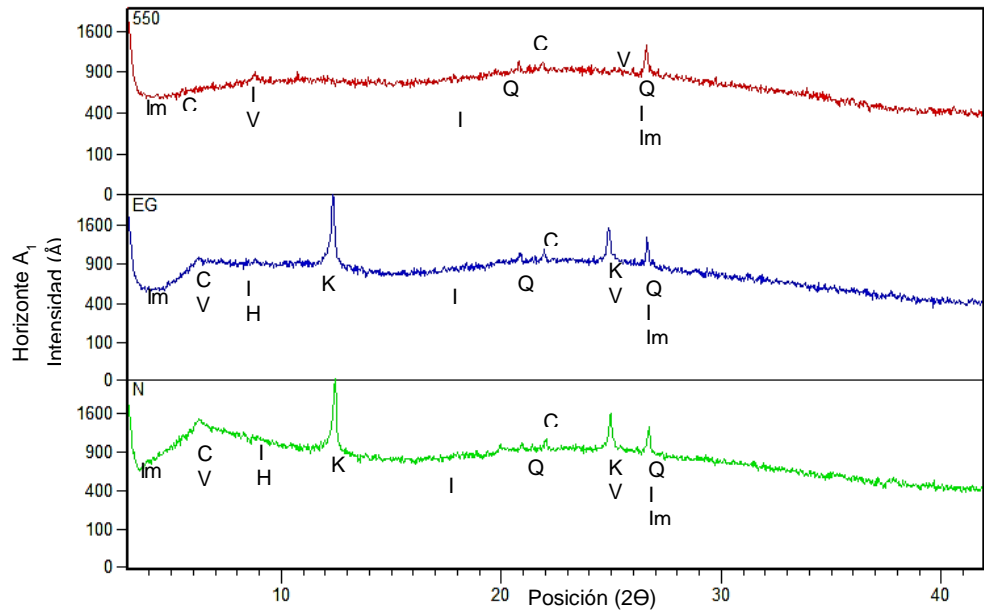
## mm. Propiedades Ándicas perfil X

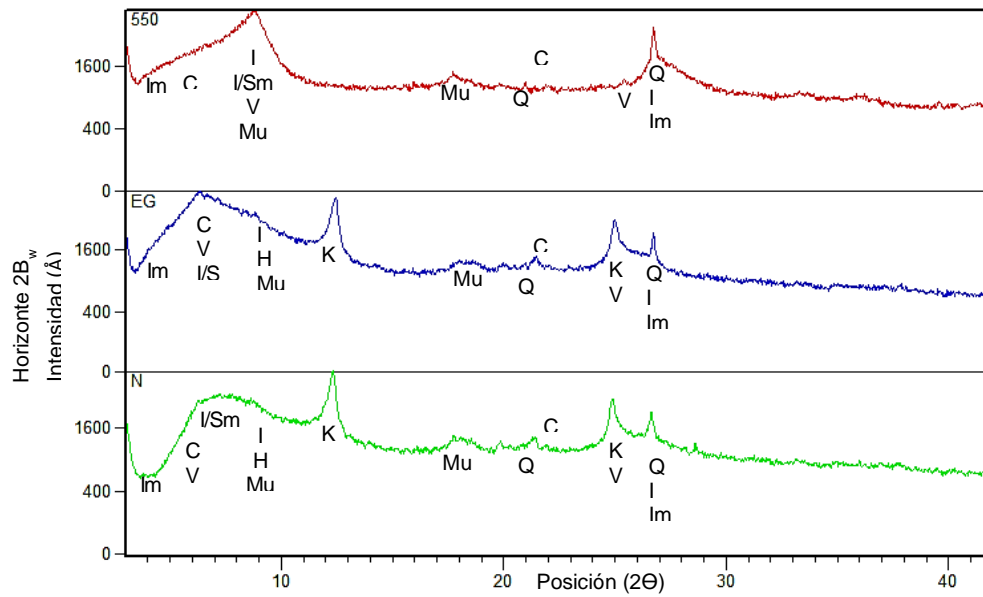
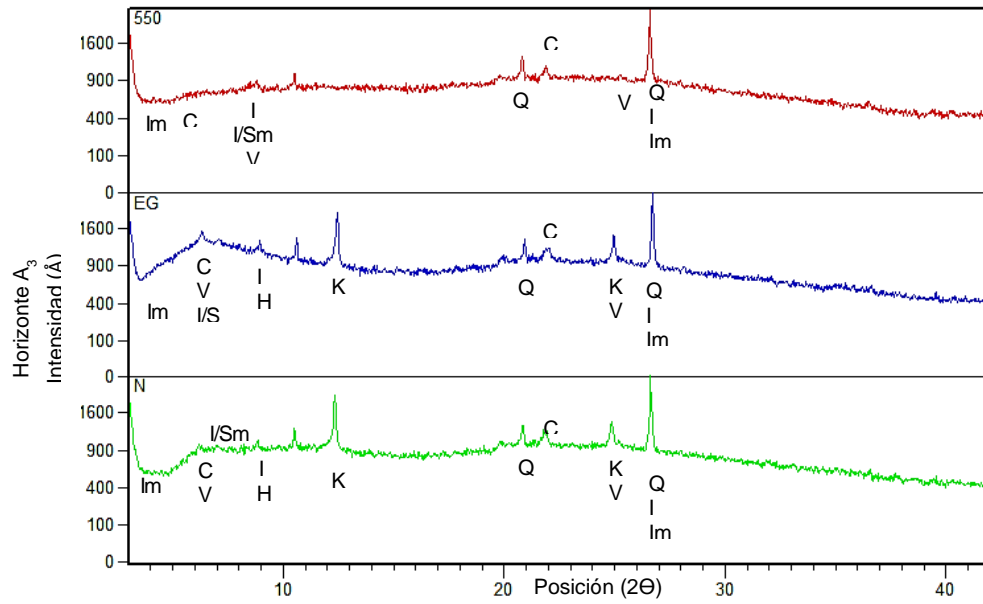
H <sub>z</sub>	Profundidad (cm)	IM	%RF	%Fe	%Al	Al+1/2Fe
A <sub>p</sub>	0-55	1,54	83,90	1,80	1,20	2,10
A <sub>1</sub>	55-92	1,52	88,20	1,60	1,50	2,30
A <sub>2</sub>	92-127	1,51	90,70	1,60	1,60	2,40
A <sub>3</sub>	127-168	1,50	98,30	1,90	1,90	2,85
2B <sub>w</sub>	168-209	1,56	88,70	1,50	1,00	1,75

## nn. Análisis Mineralógicos: Difractogramas del Perfil VII empleando el método de Thorez (N: Natural; EG: Saturación con Etilenglicol y 550: Calcinación a 550°C

caolinita (K) ; cuarzo (Q), clorita (C) e illita (I), vermiculita (V), interestratificados de clorita-vermiculita (C/V) y de illita-esmectita (I/Sm), muscovita (Mu), halloysita (H) e imogolita (Im).









## B. Anexo B: Stock de Carbono del suelo

Profundidad (cm)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0	63,5	72,9	60,1	63,8	60,7	73,2	72,6	52,9	63,9	96,9
10	67,9	68,9	51,8	50,7	49,1	62,9	79,4	70,5	64,1	42,4
20	47,5	54,2	39,8	50,6	61,7	66,6	78,3	67,1	70,3	55,6
30	49,0	50,4	37,6		28,2	49,3	71,9	63,0	29,4	58,3
40	35,5	42,7	35,9		27,9	48,2	75,5	59,9	63,8	53,6
50	34,3	31,0	36,3		40,1	63,0	72,5	46,6	69,5	56,6
60		19,2	21,4			43,9	68,6	49,7	60,1	58,1
70			21,1			59,4	63,9	41,0	76,2	64,0
80			23,5			32,9	66,8	35,9	71,5	63,4
90			23,0			11,2	72,5	27,5	49,4	75,1
<b>TOTAL</b>	297,7	339,3	350,6	165,1	267,7	510,6	514,2	514,2	618,2	624,0