



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Variabilidad del flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero

Diego Camilo Peña Quemba

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

Variabilidad del flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero

(Variability of soil CO₂ efflux on different land uses in an Andean Páramo of Colombia)

Diego Camilo Peña Quemba

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Directora:

Yolanda Rubiano Sanabria, Agrologa Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia

Codirector:

Diego Riveros Iregui, Geologo Ph.D.

Universidad de Carolina del Norte – Chapel Hill

Línea de Investigación:

Suelos y Aguas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

Agradecimientos

Indudablemente gracias a la ayuda de mis padres Angela y Pablo, por su constante apoyo durante este proceso para culminar con éxito esta meta. A la Dra. Yolanda Rubiano que me apoyó, guío y corrigió durante estos dos años de maestría, y durante mi formación profesional, convirtiéndose en un ejemplo a seguir en la academia y en la vida personal.

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (COLCIENCIAS), por la financiación a través del contrato 0692 de 2012 de la convocatoria 547 Diáspora al proyecto “Calidad y sostenibilidad del agua y los suelos en Páramos Andinos: Agua potable para millones de habitantes en Latinoamérica”. A la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill.

Agradezco el apoyo técnico del profesor Diego Riveros Iregui, el apoyo en campo de William Avery y Theresa Lorenzo (Universidad de Nebraska), Sergio Gaviria Melo (Departamento Geociencias, Universidad Nacional de Colombia), Melissa Lis y Cristina Díaz (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia).

Al profesor Juan Carlos Loaiza (Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín) por su apoyo técnico y científico. Al profesor Aquiles Enrique Darghan (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá) por la asesoría estadística.

Y a las comunidades del Páramo de Guerrero, especialmente a Doña Patricia, Doña Pilar, Don Josue y Don Pedro, que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en el desarrollo de esta investigación.

Resumen

El Páramo es un importante sumidero global de carbono. El secuestro de carbono en este ecosistema está relacionado con el bajo potencial de óxido-reducción, el alto contenido de agua y el ambiente húmedo. Las actividades antrópicas son una de las causas principales de la actual degradación de los páramos andinos y a su vez de la sostenibilidad de bienes y servicios ecosistémicos tales como la regulación hídrica, los ciclos biogeoquímicos y el recurso edáfico. El flujo de CO₂ del suelo, o respiración de suelo (Rs), es un proceso natural por el cual el carbono, producto de actividades autótrofas y heterótrofas es liberado a la atmósfera por medio de difusión. Diversos estudios han investigado la respuesta de la Rs a los factores ambientales. Sin embargo, muy pocos estudios han investigado la influencia del cambio de uso de suelo de los páramos, en conjunto con la posición topográfica, sobre las dinámicas de Rs. El objetivo principal de este trabajo fue cuantificar la variabilidad del flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el Páramo de Guerrero, localizado en la Cordillera Oriental de Colombia. Mediciones de Rs se llevaron a cabo en un páramo afectado por el cambio del uso del suelo, incluyendo coberturas actuales de papa, pastura, páramo en recuperación y lotes en labranza. Los resultados muestran que la Rs es menor en la cobertura de páramo (0.42 g CO₂ m⁻²hr⁻¹) que en las demás coberturas vegetales, probablemente debido al mayor contenido de humedad (57.1% en promedio) relacionado con la reducción de la actividad microbiana. En contraste, las demás coberturas presentan mayores tasas de flujo de Rs y mayor variabilidad, lo cual podría deberse al tipo de manejo agropecuario realizado históricamente. Este estudio demuestra que los cambios en la cobertura vegetal del suelo afectan diferencialmente la acumulación y dinámicas de liberación de carbono del suelo a la atmósfera y genera nuevas estrategias de manejo y protección de los páramos andinos.

Palabras clave

Respiración del suelo; Páramo Andino; Coberturas vegetales; Sumidero de Carbono.

Abstract

The Andean paramo is an important global carbon sink. Carbon sequestration in this ecosystem is enhanced by the low redox potential, high water content and moist environment. Anthropogenic activities are one of major causes of the current degradation of the Andean highlands, and in turn, the sustainability of water and soil resources. The soil CO₂ efflux, or soil respiration (Rs), is a natural process through which the product of autotrophic and heterotrophic activities carbon is released into the atmosphere by molecular diffusion. Many studies have investigated the response of Rs to environmental factors. However, very few studies have investigated the influence of land use change in paramo soils, together with topographical position on the Rs dynamics. The main objective of this work is to quantify the variability of soil CO₂ efflux on different land uses in the Paramo de Guerrero, located in the Eastern Cordillera of Colombia. Rs measurements were carried out on a affected paramo by the change in land use, including current potato crop, pasture, paramo recovering, and tillage plots. Our results show that Rs was lower in the paramo (0.42 g CO₂ m⁻²h⁻¹) than the others land uses, probably due to the higher moisture content (57.1% on average). In contrast, other land uses have higher flow rates and greater variability of Rs, which could be due to the type of historical agricultural management. This study demonstrates that changes in land uses affect differentially the accumulation and dynamics of soil carbon release to the atmosphere and offers implications for management strategies and protection of the andean paramos.

Keywords

Soil respiration; Andean paramo; Landcover and use; Carbon sink.

Contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	XII
Lista de Tablas	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIV
Introducción	1
1. Marco Conceptual	5
1.1 Flujo de CO₂.....	5
1.1.1 Principales controladores del flujo de CO ₂	8
1.1.2 Técnicas de Medición en campo	9
1.2 Páramo de Guerrero.....	10
1.2.1 Clima.....	11
1.2.2 Geología.....	12
1.2.3 Geomorfología.....	12
1.2.4 Suelos	13
1.3 El proceso de transformación Antrópica del Páramo de Guerrero.....	13
2. Materiales y Métodos.....	15
2.1 Zona de Estudio.....	15
2.2 Selección de puntos de muestreo	16
2.2.1 Clasificación de la cobertura vegetal y el uso del suelo	16
2.2.2 Coberturas vegetales.....	16
2.3 Carbono orgánico Total (COT) y flujo de CO₂ como indicadores de calidad de suelos .	22
2.4 Medición del flujo de CO₂ y variables edafoclimáticas	23
2.4.1 Flujo de CO ₂	23
2.4.2 Temperatura y humedad del suelo	23
2.5 Descripción y muestreo de suelos.....	24
2.6 Análisis de Datos	24
2.6.1 Análisis de varianza multivariado	24
2.6.2 Análisis de correspondencia múltiple.....	24
2.6.3 Ajuste de modelo de regresión simple	25
3. Resultados y discusión.....	27

3.1	Condiciones edafoclimáticas de los transectos	27
3.2	Flujo de CO ₂ por cobertura vegetal	31
3.3	Efecto del tipo de manejo del suelo en el flujo de CO ₂	32
3.4	Análisis de la calidad del suelo.....	34
3.5	Análisis de correspondencia múltiple	37
3.6	Ajuste de modelo de regresión simple para las variables edafoclimáticas.....	38
4.	Conclusiones y recomendaciones	43
4.1	Conclusiones	43
4.2	Recomendaciones	44
5.	Anexos	45
5.1	Anexo 1: Descripción de Cajuelas	45
5.2	Anexo 2: Protocolo de Medición de flujo de CO ₂	87
6.	Bibliografía	98

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1: Diagrama general de los procesos principales de la respiración del ecosistema (Re) en el ecosistema (Luo and Zhou, 2006).	7
Figura 1-2: Esquema representativo de los métodos de medición de la Rs. Adaptado de Kutsch <i>et al.</i> (2010).	9
Figura 1-3: Tasa de variación de las coberturas vegetales en los periodos de 1960 – 2007, en altitudes superiores a 3200 msnm Cubillos (2011).	14
Figura 2-1: Localización del área de estudio: municipio de Tausa, Cundinamarca (Colombia).	15
Figura 2-2: Distribución porcentual de las clases de cobertura en el Páramo de Guerrero a escala general.	17
Figura 2-3: Distribución específica de usos y coberturas en el páramo de Guerrero.	18
Figura 2-4: Mapa de cobertura y uso del suelo elaborado con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.	19
Figura 3-1: Variabilidad del contenido de humedad del suelo, en relación con la pendiente de los transectos T1, T2 y T3 en el Páramo de Guerrero (Colombia).	27
Figura 3-2: Variabilidad del flujo de CO ₂ , contenido de humedad y la temperatura del suelo en los transectos T1, T2 y T3 en el Páramo de Guerrero.	29
Figura 3-3: Variabilidad del flujo de CO ₂ por cobertura en cada una de los transectos T1 (A), T2 (B) y T3 (C) en el Páramo de Guerrero.	32
Figura 3-4: Efectos del manejo del suelo sobre el flujo de CO ₂ en los transectos T2 y T3, con cobertura de arado en el Páramo de Guerrero.	33
Figura 3-5: Efectos del manejo del suelo sobre el flujo de CO ₂ en los transectos T2 y T3, con cobertura de arado en el Páramo de Guerrero.	33
Figura 3-6: Efectos del tipo de manejo del suelo sobre COT en los transectos T1, T2 y T3, con el testigo de bosque natural en el Páramo de Guerrero.	35
Figura 3-7: Regresión positiva entre la Hs y el COT a los 5cm (A) y a los 20 cm de profundidad (B).	36
Figura 3-8: Análisis de correspondencia múltiple en dos dimensiones, con variables cualitativas de textura a diferentes profundidades (T5, T20 y T50), pendiente (P), cobertura (Cb), convergencia (Cv) y forma del terreno (LF).	37
Figura 3-9: Regresión lineal no significativa del flujo de CO ₂ con la humedad del suelo en los tres transectos (arriba a la izquierda), regresión lineal no significativa entre el flujo de CO ₂ y la temperatura en los tres transectos (arriba a la derecha),	

regresión lineal significativa entre la humedad del suelo y la temperatura en los tres transectos (abajo).....39

Figura 3-10: Modelo de ajuste de regresión simple para el flujo de CO₂, con respecto al COT en los 20 cm de profundidad para el transecto T1.40

Figura 3-11: Modelo de ajuste de regresión simple para el flujo de CO₂, con respecto al COT en los 20 cm de profundidad para los transectos T2 y T3.42

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Áreas totales de cada cobertura, dividida en clases.	17
Tabla 2-2: Distribución de las coberturas para cada nivel general de clasificación.....	18
Tabla 3-1: Matriz de correlación del Flujo de CO ₂ , humedad del suelo (Hs) y temperatura del suelo (Ts) con el contenido de Carbono orgánico total (COT) a diferentes profundidades.	28
Tabla 3-2: Suma de cuadrados y productos cruzados (SCPC) para el MANOVA	29
Tabla 3-3: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable flujo de CO ₂	30
Tabla 3-4: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable de Hs.....	30
Tabla 3-5: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable Hs.	30

Introducción

El uso racional de los recursos hídricos y edáficos resulta clave en el uso sostenible de los ecosistemas. Sin embargo, la presión que se ejerce a través de la agricultura sobre áreas de gran importancia hidrológica como los páramos, se convierte en una preocupación ambiental, en términos de sostenibilidad de los recursos hídrico y edáfico. El páramo posee funciones ecológicas fundamentales de captación, regulación y suministro de recursos hídricos para diferentes usos. Además, cumple la importante función socio económica de abastecimiento de agua en la región andina. Grandes ciudades como Bogotá y Quito dependen completamente de los páramos para su abastecimiento de agua (De Groot *et al.*, 2002). La capacidad de regulación hídrica en estos ecosistemas está relacionada con algunas propiedades físicas del suelo como la estructura, alta porosidad y alta capacidad de retención de agua, generalmente asociada a los contenidos de materia orgánica.

El suelo en términos generales es un sumidero importante de carbono (C) y en las condiciones de páramo esta capacidad de almacenamiento es superior debido al bajo potencial de óxido-reducción, el alto contenido de agua y el clima húmedo. Sin embargo, la capacidad de regulación hídrica y de acumulación de carbono orgánico puede ser irreversiblemente dañada por la intensificación de las actividades agrícolas en los páramos (Buytaert *et al.*, 2006b). Las políticas y acuerdos internacionales promueven el aumento de la producción de alimento para garantizar la sostenibilidad alimentaria de la población mundial, y a su vez ejercen presión por convertir áreas sin vocación agrícola como los páramos, en áreas totalmente productivas (Otero *et al.*, 2011), como resultado de estas políticas, en las últimas décadas las actividades agropecuarias en estos ecosistemas de alta montaña se han incrementado e intensificado drásticamente (Buytaert *et al.*, 2006a).

Las actividades antropogénicas son la causa principal de la degradación del páramo (Poulenard and Podwojewski, 2000) entre otros, los efectos de la mecanización

y aplicación de enmiendas químicas, que alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Balogh *et al.*, 2011). El desarrollo de prácticas agrícolas en áreas de montaña con pendientes fuertemente inclinadas acelera los procesos de erosión y genera daños irreversibles en las propiedades del suelo, además reducen la productividad de los cultivos (Jaramillo, 2004).

El flujo de dióxido de carbono (CO₂) es un proceso natural por el cual el carbono es liberado a la atmósfera a través de la respiración autotrófica y heterotrófica (Dilustro *et al.*, 2005; Riveros-Iregui *et al.*, 2008; Tang *et al.*, 2003). La respiración del suelo (Rs) se conoce como la liberación de CO₂ a la atmósfera (Fiener *et al.*, 2012; Oyonarte *et al.*, 2012; Pacific *et al.*, 2008; Riveros-Iregui *et al.*, 2008) y presenta una variabilidad espacial alta por los cambios en el tipo de suelo y/o posición geomorfológica, que le otorgan al suelo diferencias en temperatura y humedad. Adicionalmente, presenta alta variabilidad temporal por los cambios en las condiciones climáticas de la zona, como periodos de lluvia y sequía o cambios de época seca a invierno en la zona templada (Davidson, 2006; Oyonarte *et al.*, 2012).

Los estudios de variabilidad de flujos de CO₂ del suelo se realizan mediante mediciones puntuales con cámaras estáticas y portátiles. Estas cámaras registran la variación de los flujos en intervalos de tiempo diario, mensual, semestral y anual, y son analizados como variaciones temporales de flujo de CO₂ (Acosta *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2003). Algunos autores afirman que las mediciones que se realizan con cámaras dinámicas o portátiles son mediciones de confianza del flujo de CO₂ a la atmósfera, en tanto que, el uso de cámaras estáticas puede subestimar las mediciones (Kabwe *et al.*, 2002; Sainju *et al.*, 2012). La variabilidad temporal en una única zona de estudio es fácilmente determinada por medio de mediciones automatizadas en cierto periodo de tiempo (Fiener *et al.*, 2012). Sin embargo, describir la variabilidad espacial es un proceso más difícil porque requiere un número más alto de mediciones distribuidas espacialmente en el terreno. Pacific *et al.* (2008) y Oyonarte *et al.* (2012) encontraron que existen diferencias en la variabilidad espacio temporal de la Rs en respuesta al grado de pendiente y a la posición en el paisaje. Muy pocos estudios han investigado la influencia de la posición topográfica como un factor determinante de la respiración del suelo (Fiener *et al.*, 2012; Riveros-Iregui *et al.*, 2008).

Los efectos del cambio del uso del suelo sobre el flujo de CO₂ son raramente estudiados (Wang and Fang, 2009). Aunque, algunas investigaciones reportan la influencia de los diferentes tipos de cobertura vegetal (Iqbal *et al.*, 2008; Xiao-Zeng *et al.*, 2013), el cambio de uso del suelo de vegetación natural hacia uso agrícola (Liu *et al.*, 2011; Motavalli *et al.*, 2000; Oyonarte *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013) y las prácticas de manejo (Görres *et al.*, 2014; Sugihara *et al.*, 2012) sobre el flujo de CO₂. No obstante, para los páramos circundantes a Bogotá, no existen estudios que relacionen la respuesta de la respiración del suelo a las diferentes posiciones topográficas y los cambios de uso y manejo del suelo.

Lo expuesto permitió plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo afectan los cambios de uso, manejo de la cobertura vegetal y la topografía los flujos de CO₂ a la atmósfera en el Páramo de Guerrero?

Objetivo General

Estimar la variabilidad del flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero.

Objetivos específicos

- Determinar mediante análisis de terreno y mediciones directas el flujo de CO₂ para suelos con diferentes coberturas vegetales en el páramo de Guerrero.
- Caracterizar las condiciones edafoclimáticas (temperatura y humedad) que controlan el proceso respiración del suelo en el páramo de Guerrero.
- Establecer el flujo de CO₂ y el carbono orgánico total como indicadores de calidad de suelos en el páramo de Guerrero.

1. Marco Conceptual

1.1 Flujo de CO₂

El suelo representa el más grande depósito de C entre los ecosistemas terrestres, con un gran potencial para capturarlo o liberarlo hacia la atmósfera. Este almacenamiento no es permanente, pero es el resultado de una dinámica de equilibrio entre los materiales orgánicos e inorgánicos que entran y salen del suelo, y que a su vez son influenciados por los cambios de vegetación (tala y cambios en la acumulación de materia orgánica) y por efectos de la labranza. Uno de los factores más sensibles en la pérdida de la capacidad de acumulación del C en el suelo, es el calentamiento global (Görres *et al.*, 2014), proceso que puede convertir fácilmente un sumidero en una fuente de C, hacia la atmósfera.

El suelo libera en procesos naturales entre 68 a 80 pentagramos (Pg = 10¹⁵g) de C a la atmósfera cada año, lo cual es 10 veces más de lo liberado por la quema de combustible fósil (Wang and Fang, 2009). Cualquier incremento en el flujo de CO₂ en respuesta a los cambios ambientales tiene un aporte potencial en el incremento de los niveles de CO₂ atmosférico y además proporciona una positiva retroalimentación al calentamiento global (Rustad *et al.*, 2000). Como lo indica el IPCC (2007), las emisiones de CO₂ de origen antrópico a la atmósfera continúan aumentando. Asimismo, las variaciones en el contenido de C orgánico ligados a los cambios en la cobertura vegetal y tipos de manejo de suelos tropicales pueden tener un impacto negativo en las propiedades físicas y químicas del mismo (Schrumpp *et al.*, 2011) y potencialmente afectar el ciclo global de C. Motavalli *et al.* (2000), señalaron que en los trópicos húmedos las pérdidas de C orgánico después del cambio de vegetación natural (bosques) hacia el uso agrícola pasó del 20 al 40% en los primeros 1 o 2 años después de su intervención. En este sentido, es necesario conocer las dinámicas del C del suelo para un mejor entendimiento del balance de carbono global.

La fuente de entrada de C orgánico al ecosistema terrestre es la fotosíntesis o productividad primaria bruta. Mediante este proceso los fotoasimilados pueden ser transferidos directamente a las raíces vía floema o pueden ser convertidos en biomasa, y posteriormente, transferidos al suelo vía hojarasca (Kutsch *et al.*, 2010). Parte del C fijado en la fotosíntesis es usado por la planta para formar nuevos tejidos incluidos hojas, tallo, y raíces; otra parte es utilizada para suplir de energía a la planta y durante este proceso, el CO₂ es liberado a la atmósfera a través de la respiración. La hojarasca o materiales orgánicos en el suelo son descompuestos por los microorganismos para obtener energía necesaria para su crecimiento y otras funciones vitales y al mismo tiempo, liberan CO₂ a la atmósfera como producto de su metabolismo (Luo and Zhou, 2006).

La respiración autótrofa (Ra) proviene de la zona radical de la planta y las micorrizas asociadas. La respiración heterótrofa (Rh) hace referencia a la respiración microbial, estos son los componentes principales de la Rs (ecuación 1.1) (**Figura 1.1**) (Concilio *et al.*, 2006; Ngao *et al.*, 2012; Oyonarte *et al.*, 2012; Riveros-Iregui *et al.*, 2008; Shi *et al.*, 2014). En tanto la respiración del ecosistema (Re) está relacionada con el flujo total de CO₂ en un sistema determinado. La señal más evidente de la Rs es la mineralización de la materia orgánica. Este proceso comienza con la descomposición de los materiales orgánicos (como la hojarasca), que se rompen progresivamente en partículas más pequeñas, hasta estructuras que no pueden ser reconocidas. Las moléculas orgánicas pueden ser mineralizadas en sus primeros componentes: H₂O, CO₂ y componentes minerales (Kutsch *et al.*, 2010).

$$Rs = Ra + Rh \quad (1.1)$$

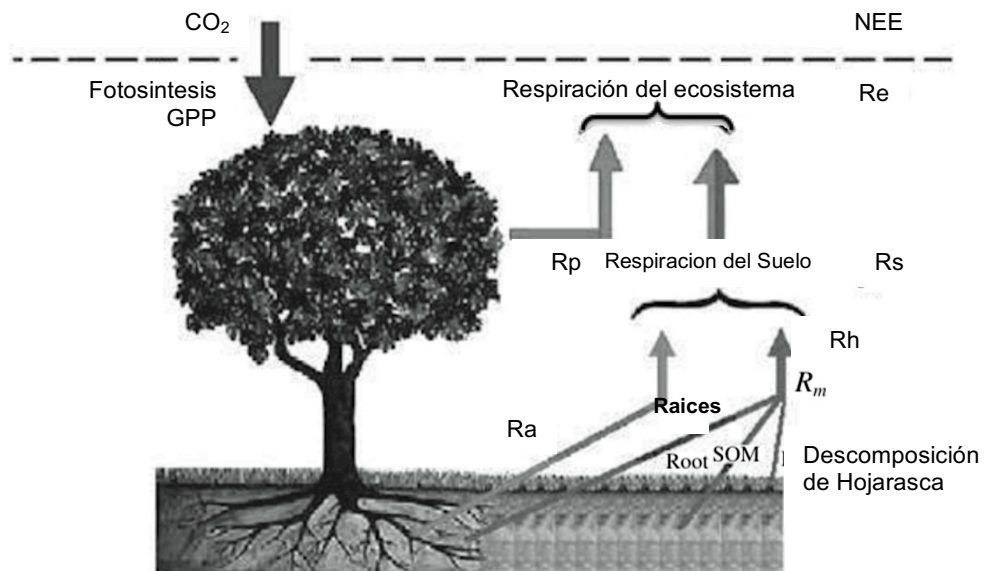
En el proceso de descomposición de la materia orgánica la estructura química de los materiales orgánicos cambia debido a la degradación selectiva de los compuestos. Durante este proceso los compuestos orgánicos recalcitrantes son formados, compuestos estructurales son acumulados y el carbono orgánico disuelto puede ser lixiviado al suelo mineral, donde posteriormente pueden ser inmovilizado o mineralizado dependiendo la demanda microbiana (Kutsch *et al.*, 2010). La descomposición de la materia orgánica decrece con el tiempo y es controlada, principalmente por el clima. Las tasas de descomposición más rápidas se presentan en climas más cálidos y húmedos, ya que estas condiciones aceleran el metabolismo de la comunidad microbiana.

La R_e puede ser estimada por la ecuación que se presenta a continuación y hace referencia a la suma de la R_s y la respiración de las plantas (R_p):

$$R_e = R_s + R_p \quad (1.2)$$

La relación entre la R_s y el R_e ha sido reportada con anterioridad. Por ejemplo, Curtis *et al.* (2005) encontraron que existe un aporte del 71% de la R_s en el procesos de R_e y un 29% es proporcionado por R_p (hojarasca y tallos vivos). Sin embargo, esta relación puede variar durante el año y a través de los años, especialmente en zonas templadas, durante el invierno la R_s contribuye con cerca del 100% de la R_e (Curtis *et al.*, 2005).

Figura 1-1: Diagrama general de los procesos principales de la respiración del ecosistema (R_e)



en el ecosistema (Luo and Zhou, 2006).

La respiración del suelo no solo es importante en la R_e , también es importante en la productividad primaria bruta (PPB) (figura 1.1). La PPB corresponde a la asimilación anual de carbono por fotosíntesis, menos la fotorespiración.

El transporte del CO_2 en la fase gaseosa del suelo es controlado por gradientes de concentración, difusión y flujo de masas, desde horizontes más profundos hasta las capas superficiales. La concentración de CO_2 en el perfil del suelo cambia dependiendo de la profundidad; capas más profundas tienen una mayor concentración, mientras que capas más superficiales tienen menor concentración. Buyanovsky and Wagner (1983) reportaron que la concentración en horizontes más profundos puede ser 100 veces

mayor que en las capas superficiales. Los flujo de CO₂ producidos y almacenados de forma no permanente en el suelo por medio de los diferentes procesos biológicos son transferidos a la atmosfera por difusión y flujo de masa (Campos, 2006).

1.1.1 Principales controladores del flujo de CO₂

La Rs es direccionada por varios procesos biogeoquímicos, los cuales actúan a diferentes escalas (paisaje, formas del terreno o de campo) y niveles de detalle. Además, está influenciada por un amplio número de factores bióticos, entre ellos la diversidad y abundancia de los microorganismos del suelo y factores abióticos, como las propiedades físicas del suelo, la textura y densidad aparente (Ngao *et al.*, 2012). Estas relaciones se pueden establecer mediante la ecuación 1.3.

$$Rs = Rh (Ts, Hs) + Ra (PAR, Hs) \quad (1.3)$$

En donde Ts es la temperatura del suelo y Hs es la humedad del suelo, y son los factores ambientales más importantes en la regulación de la Rs, pero son inversamente proporcionales entre sí por principios físicos de pérdida de energía (Coyne, 2000) aumentos de temperatura aceleran el metabolismo de los microorganismos del suelo, elevando la tasa de respiración (Teklay *et al.*, 2010) e incrementando el flujo de CO₂ a la atmosfera, convirtiéndolo el sistema en flujo de retroalimentación constante. Donde al aumentarse la concentración de gases efecto invernadero se acelera de forma inmediata el proceso de calentamiento global y generando un aumento en la temperatura media del planeta, lo cual incrementa el proceso de Rs. Existen otras propiedades edáficas como la textura y el contenido de C y N, fisiológicas como la fotosíntesis, la fenología de las plantas, índice de área foliar y radiación fotosintéticamente activa (RFA) que también pueden controlar el proceso de Rs (Baldocchi *et al.*, 2006; Xu and Qi, 2001a, b).

A escala global, regional y local, la Ts y la Hs han sido considerados los parámetros abióticos más importantes que controlan la Rs (Buchmann, 2000; Subke and Bahn, 2010); Sin embargo, no existe un consenso general sobre cuál es el factor que más interviene en este proceso. Diferentes autores reportan que el contenido de humedad del suelo es el factor controlador más importante (Pacific *et al.*, 2008; Riveros-Iregui *et al.*, 2011; Riveros-Iregui *et al.*, 2008), mientras que otros autores aseguran que la temperatura es el principal controlador de este proceso (Campos, 2006; Iqbal *et al.*, 2008;

Subke and Bahn, 2010). Ngao *et al.* (2012) consideran que la variabilidad espacial de la temperatura del suelo puede ser importante a gran escala o en terreno escarpado debido a las diferencias en la radiación incidente. No obstante, a escala más pequeña en terrenos relativamente planos, típico de áreas agrícolas, la humedad del suelo presenta mayor variabilidad en el espacio que la temperatura. Por lo anterior, la humedad del suelo ha sido identificada como el controlador más importante en los principales estudios de variabilidad espacial de la R_s .

1.1.2 Técnicas de Medición en campo

Diferentes métodos han sido desarrollados para medir el flujo total de CO_2 del suelo a la atmósfera. Algunos de ellos pueden alterar y/o modificar las condiciones reales en las cuales el flujo de CO_2 representa a la R_s de forma directa. La razón por la que ningún método ha sido establecido como un estándar de medición, es porque la medición en campo de la R_s , es una de las mediciones más difíciles, dentro de los flujos del ecosistema.

Existen dos métodos de medición de la R_s en campo. Las cámaras cerradas dinámicas y estáticas. Estos dos métodos tienen el mismo principio de medición del flujo de CO_2 , el cual la concentración de CO_2 es determinada por el incremento del gas dentro de la cámara durante un periodo de tiempo determinado; el cálculo se realiza con respecto a la pendiente de la recta del incremento en la concentración de CO_2 dentro de la cámara. El otro método es el sistema de cámaras abiertas, donde el flujo de CO_2 en un periodo de tiempo conocido es determinado por la diferencia entre la concentración del flujo de entrada y de salida (Emran *et al.*, 2012; Kutsch *et al.*, 2010).

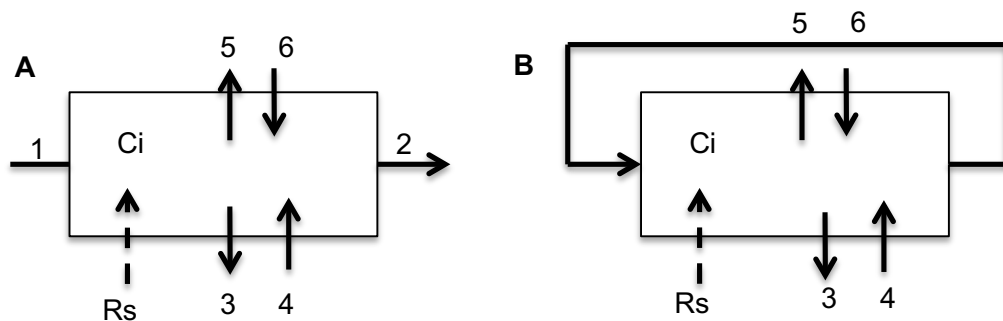


Figura 1-2: Esquema representativo de los métodos de medición de la R_s , (A) cámara abierta y (B) cámara cerrada. Adaptado de Kutsch *et al.* (2010).

En la sección A se representa la cámara de medición abierta, en la que el flujo de CO₂ (Rs) es calculado por la interacción entre la concentración del flujo de entrada (1) y el flujo de salida (2) con las posibles interacciones entre los flujos de aire entre el suelo y el interior de la cámara (3,4), así como la interacción entre el aire del ambiente y el interior de la cámara (5,6). En la sección B está representada la cámara de medición cerrada (móvil o estática) establece el flujo por medio de la curva del incremento de CO₂ dentro de la cámara (Ci), con las posibles interacciones entre el flujo de aire del suelo y el ambiente al interior de la cámara (3,4,5,6), en relación a las condiciones de temperatura y al volumen de la cámara.

Los dos sistemas tienen sus ventajas. El sistema abierto es también usado para la medición de la fotosíntesis en campo, este no sobreestima la concentración del CO₂ dentro de la cámara porque permite el paso constante de aire y no lo almacena como los sistemas cerrados (móvil o estático) (Subke *et al.*, 2003). Sin embargo, es un sistema muy sensible a los cambios de presión, es de baja movilidad y puede llegar a ser muy costoso en comparación con los demás sistemas. Los sistemas cerrados móviles por su parte, poseen la ventaja de una mayor velocidad en la medición, son más pequeños y prácticos para las mediciones espaciales en campo, y poseen un amplio rango de comercialización, modelos y compañías de fabricación. Los sistemas cerrados estáticos, son fáciles de construir, son de bajo costo y pueden ser usados para mediciones espaciales (Kutsch *et al.*, 2010). Las cámaras cerradas móviles tienen un diseño compacto, que es óptimo para realizar mediciones en áreas de pendientes fuertemente inclinadas y con dificultades de acceso. En la región Andina colombiana y en especial las zonas de páramo, resulta poco probable la instalación de las cámaras estáticas, por la inconformidad de los propietarios al observar elementos extraños en sus propiedades, el uso de cámaras móviles, crea un ambiente de seguridad entre los dueños de las parcelas, porque garantiza que no están limitando (perdiendo) espacio de siembra o pastoreo, ni calidad en su territorio.

1.2 Páramo de Guerrero

El páramo se ubica en la parte alta del bosque alto andino, arriba de 3000 msnm, es considerado como un ecosistema único, en Latinoamérica sólo Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Costa Rica cuentan con páramos tropicales ubicados, casi todos, salvo

los de la Sierra Nevada de Santa Marta y los de Costa Rica, en la cordillera de los Andes. Desde la perspectiva general los páramos en Colombia, se asocian a áreas altas, frías, húmedas, nubladas y con vegetación arbustiva y abierta, dentro de la que se destacan los emblemáticos frailejones (Morales *et al.*, 2007).

Los páramos son sumidero de carbono de importancia a global. El secuestro de carbono en estos ecosistemas de alta montaña está asociado al bajo potencial de óxido-reducción, al alto contenido de agua y el clima húmedo. Además, en las áreas donde el suelo se desarrolló o fue influenciado por depósitos de ceniza volcánica, existe un aumento significativo en la acumulación de materia orgánica, debido a la formación de complejos organometálicos con Fe y Al, liberados durante la meteorización de las cenizas (Buytaert *et al.*, 2006b). La génesis de los suelos del páramo está fuertemente relacionada con la geomorfología de la región y se identifican dos procesos morfogénéticos principales: depósitos de cenizas volcánicas y la acumulación de carbono orgánico (Poulenard *et al.*, 2001).

El complejo de Guerrero es el sistema de páramos del norte de Cundinamarca que incluye localidades como los cerros de Socotá. Santuario y Colorado, páramos de Napa, Alto, Guargua y Laguna Verde. Los altos de la Mina y El Muchacho y cuchilla El Tablazo. Para el año 2000 el complejo de páramos de Guerrero poseía el 30% de su extensión en ecosistemas naturales (Morales *et al.*, 2007), con una vegetación propia de ecosistemas de alta montaña. Sin embargo, las actividades antrópicas han generado la pérdida de cobertura vegetal natural. La actividad agrícola, principal causa de la reducción de la vegetación propia de páramo, se concentra en la producción de cultivos transitorios de papa, arveja y zanahoria. La forma de expansión de la frontera agrícola en las zonas de páramos, está asociada a la necesidad de buscar zonas con menor incidencia de plagas y enfermedades, así como al desarrollo de variedades de papa más resistentes a las heladas, entre otras características (Alzate, 2006).

1.2.1 Clima

El clima ambiental en esta zona va de muy frío a extremadamente frío, según Caldas-Lang se encuentra entre semihúmedo, húmedo y muy húmedo, con piso bioclimático de páramo, páramo bajo o alto andino y andino (IGAC, 1997). Presenta una distribución de

la precipitación bimodal con promedio anual entre 600 y 1000 mm. La temperatura promedio multianual varía entre 7.2 y 11.1 (Morales *et al.*, 2007).

1.2.2 Geología

El municipio de Tausa se encuentra enmarcado por el Valle del Río Magdalena al occidente y la cordillera oriental, en el sector nororiental del departamento de Cundinamarca. Constituida por un núcleo de rocas Precámbricas y Paleozóicas, sobre el cual se presenta una espesa secuencia sedimentaria Meso-Cenozóica originada en ambientes marinos de plataforma, costeros y continentales (Cenozóico) (IGAC, 1997).

La geología que se encuentra en la zona de estudio está compuesta por la formación Guaduas, Formación aluvión y coluvión y la formación Guadalupe.

La formación Guaduas geográficamente está distribuida en el territorio municipal en franjas de orientación nororiente-sureste desde la parte baja del municipio hasta el occidente del páramo de Laguna Verde. Es característica la presencia de minas de carbón, en las áreas dominadas por esta formación. La litología de esta formación se encuentra compuesta por arcillolitas y lutitas con intercalaciones de arenitas cuarzosas y mantos de carbón. La Formación Guadalupe del Cretácico Superior, está constituida por areniscas de grano fino con escasas intercalaciones de limolitas, limolitas silíceas con intercalaciones de capas delgadas de areniscas de grano fino y areniscas cuarzosas dura a friable de grano medio a grueso (IGAC, 1997). Esta unidad rocosa aparece en las crestas y escarpes en éstas zonas, además de las áreas de páramo de Laguna Verde y el valle del río Guandoque. La formación aluvión y coluvión corresponde a arcilla lacustre y fluvial, depósitos glaciales y terrazas de material no consolidado (IGAC, 1997).

1.2.3 Geomorfología

La geomorfología del área de estudio corresponde a laderas de origen denudacional y cuestas estructurales al sur, laderas, colinas y terrazas fluvio-glaciares al occidente, escarpes y pendientes de gelifracción de origen mixto (denudacional y estructural) al oriente delimitando las microcuencas y campos morrenicos y hoya glaciárica en inmediaciones a Laguna Verde (IGAC, 1997).

1.2.4 Suelos

Los tipos de suelos en el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca, escala 1:100.000 (IGAC, 2001), tiene como órdenes más representativos para el área de estudio los Inceptisoles. Sin embargo, la génesis los suelos del páramo está fuertemente relacionada con los depósitos de cenizas volcánicas que da origen a otro tipo de orden de suelos. IGAC (1997) en la descripción de los suelos del municipio de Tausa a escala 1:75.000 hace referencia a tipos de suelos formados bajo la influencia de cenizas volcánicas, areniscas y arcillas, en pendientes fuertemente escarpadas (12-25%) hasta escarpadas (50-75%), con profundidad efectiva superficial a profunda (100 cm). Se clasifican dentro de los órdenes de los Andisoles como Lítico Melanudans, Typic Melanudans, Inceptisoles como Typic Dystropepts y Entisoles como Typic Troorthents y Andic Cryumbrents.

1.3 El proceso de transformación Antrópica del Páramo de Guerrero

Desde el año 1940 la intervención en el páramo de Guerrero ha sido continua y a pesar de la disminución en la velocidad de intervención de las áreas ambientalmente frágiles, existen otros factores que aceleran la degradación del ecosistema. La sobreutilización del suelo, la pérdida de biodiversidad, la alteración del régimen hídrico, se intensifican y refuerzan unos a otros, destruyendo poco a poco las funciones ecológicas fundamentales en términos de captación de agua, regulación y suministro de recursos hídricos (Alzate, 2006).

Mediante el análisis multitemporal de las transformaciones ambientales del páramo de Guerrero para el periodo de 1960-2010 realizado por Cubillos (2011), se evaluó la pérdida de coberturas naturales como resultado de la actividad ganadera. En la investigación se pudo establecer la variación de las coberturas para este periodo, y de forma más detallada las tasas de variación y los cambios en cobertura total para las áreas por encima de 3200 m.s.n.m., de igual altitud al área de estudio.

La información generada por Cubillos (2011) señala una fuerte reducción de la cobertura de bosque natural (-51.59%) y de vegetación de páramo (-36.88%) durante los últimos 47

años. Además un aumento en las áreas de pasto (356.32%) y las zonas de cultivos transitorios como papa (190.48%) (Figura 1-3).

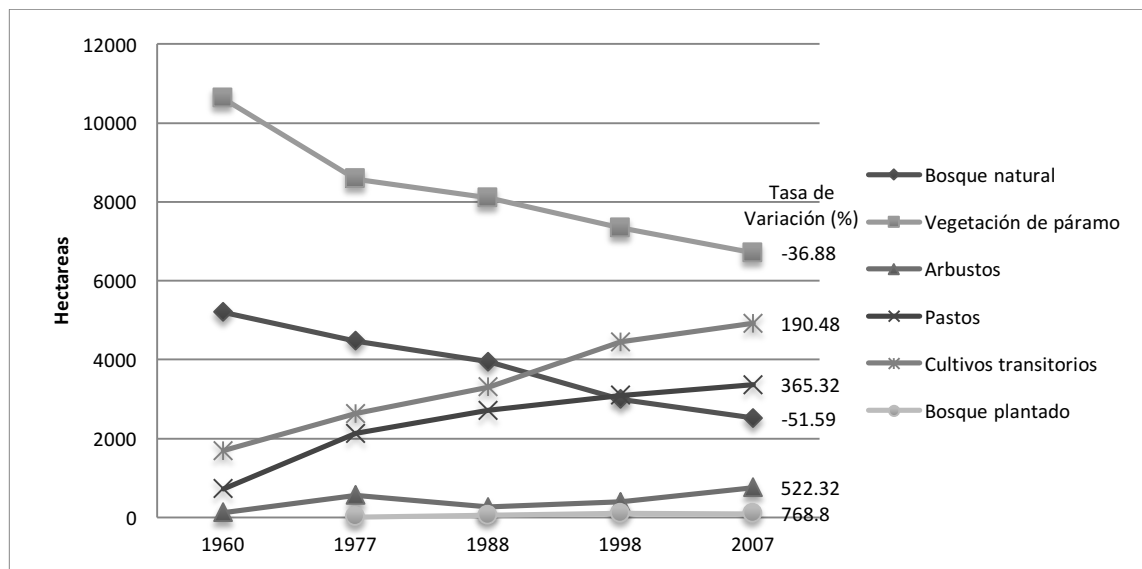


Figura 1-3: Tasa de variación de las coberturas vegetales en los periodos de 1960 – 2007, en altitudes superiores a 3200 msnm Cubillos (2011).

La principal razón de la expansión de las áreas de cobertura de pasto es el aumento de la ganadería sobre las áreas de páramo y bosque natural, mediadas principalmente por las políticas de fomento a la ganadería y el mejoramiento de la infraestructura vial del páramo de Guerrero durante las décadas del sesenta y setenta. El cultivo de papa tuvo un menor aumento (30.48%) en las áreas menores a 3200 m.s.n.m. durante los 47 años del análisis. Sin embargo, en áreas superiores a los 3200 m.s.n.m. el aumento fue del 190.48% (Figura 1-3), lo que indica el riesgo inminente en términos de expansión agrícola de estas áreas de páramo.

2. Materiales y Métodos

2.1 Zona de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Tausa, en el departamento de Cundinamarca, 65 km al norte de Bogotá, en las zonas de mayor altitud del municipio entre 3200 y 3750 msnm. El uso principal del suelo es agricultura intensiva, ganadería intensiva y semi intensiva, con áreas de conservación de bosque alto andino y zonas de vegetación de páramo. Se encuentra ubicada en la cuenca del rio Cubillos, subcuenca del rio Guandoque y está delimitada por tres microcuencas con una extensión total de 1508.49 hectáreas. Esta cuenca desemboca en el embalse del Neusa, ubicado a 7 km de distancia (Figura 2-1). Las vías de acceso que predominan en la zona son terciarias (caminos veredales) y algunas secundarias (caminos municipales y departamentales). Los caminos veredales y algunos privados son sin pavimento.

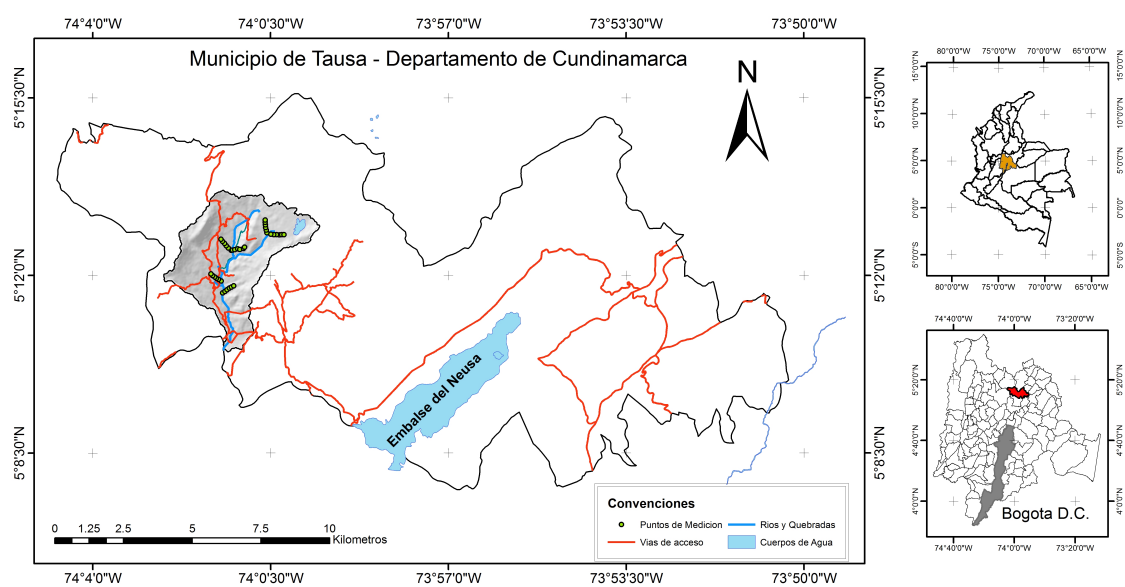


Figura 2-1: Localización del área de estudio: municipio de Tausa, Cundinamarca (Colombia).

2.2 Selección de puntos de muestreo

2.2.1 Clasificación de la cobertura vegetal y el uso del suelo

Para la clasificación de la cobertura y uso del suelo se utilizó una imagen satelital QuickBird MS de 2.62 m de resolución espacial, con una resolución espectral de 4 bandas: 3 de visible y 1 de infrarrojo cercano (760 – 900 nm). La imagen fue tomada en el año 2012, con una nubosidad menor al 10%, que fue sustituida con otra imagen satelital Rapideye del año 2009 con resolución espectral de 5 bandas: 3 visible, 1 borde de rojo y 1 de infrarrojo cercano (760 – 850 nm) y resolución espacial de 5 metros aproximadamente. Las dos imágenes fueron geo-referenciadas en el sistema internacional de coordenadas WGS 84.

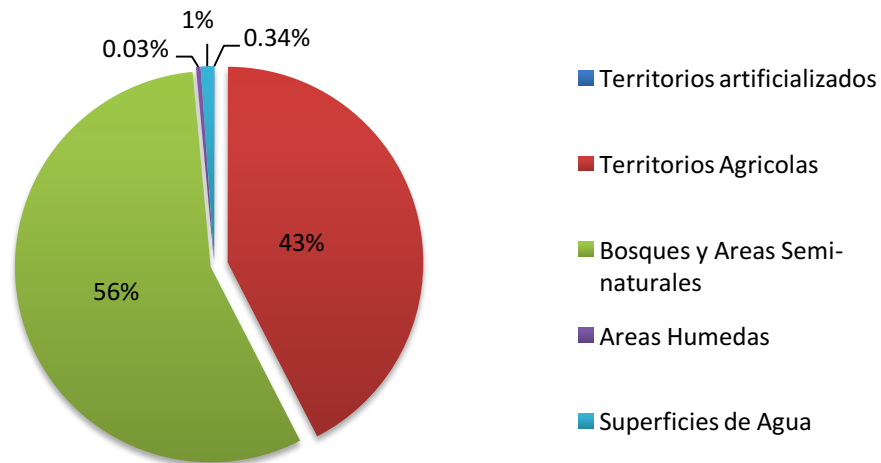
El esquema metodológico utilizado para la clasificación y espacialización de las coberturas vegetales y usos fue modificado de Rodríguez (2011) quien desarrolló la metodología para imágenes Landsat en el municipio de Villavicencio (Meta). Las imágenes utilizadas fueron clasificadas hasta el nivel de fragmentación, asignando a cada polígono resultante una clase de cobertura y/o uso de forma manual y no automatizada. Esto tuvo como fin disminuir la generalización de la interpretación, por la semejanza de la respuesta espectral y de las características espaciales de algunas zonas de cultivo con grados de erosión diferentes, que modifican la respuesta espectral de algunas coberturas en la zona de estudio.

2.2.2 Coberturas vegetales

Se obtuvo una clasificación de 4 niveles de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (Tabla 2-1). Las zonas de bosque y áreas semi-naturales con un 56% predominan en la zona, la segunda clase de mayor importancia son los territorios agrícolas (43%), representados principalmente por cultivos transitorios intensivos de papa (*Solanum tuberosum*) y áreas de uso pecuario con predominio de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (Figura 2-2). Los territorios artificializados y las áreas de humedales representan menos del 1% de la cobertura en la zona. Los cuerpos de agua representan más del 1% del área de estudio.

Tabla 2-1: Áreas totales de cada cobertura, dividida en clases.

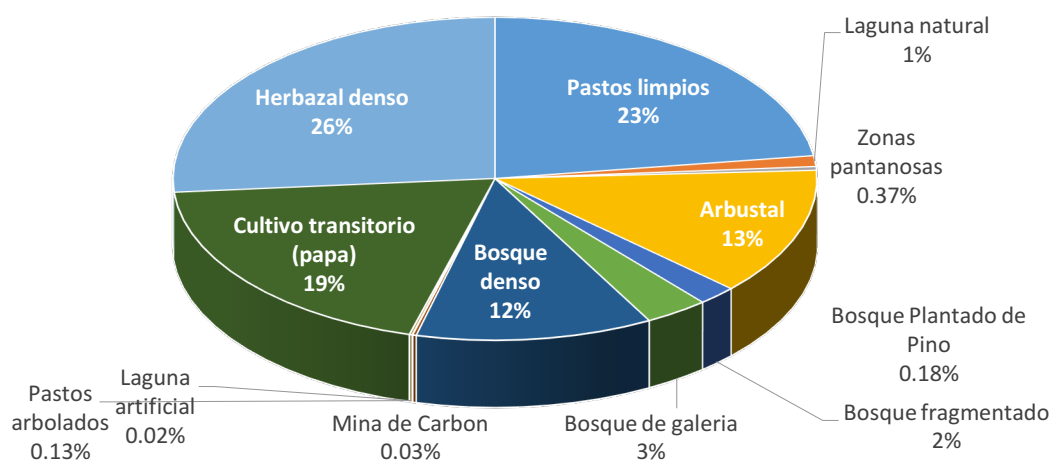
Nivel General	Código	Área (ha)
Territorios artificializados	1	0.46
Territorios Agrícolas	2	639.26
Bosques y Áreas Semi-naturales	3	845.78
Áreas Húmedas	4	5.61
Superficies de Agua	5	16.53
Total		1507.65

**Figura 2-2:** Distribución porcentual de las clases de cobertura en el Páramo de Guerrero a escala general.

Cada nivel general corresponde a la suma de diferentes coberturas específicas según la metodología de CORINE Land Cover (Tabla 2-2). Considerando que el objetivo principal de la clasificación es determinar el nivel de intervención al cual ha sido expuesto el páramo de Guerrero. Las coberturas de mayor importancia son las que hacen referencia al herbazal denso, arbustal y las coberturas de bosque, que corresponden a los territorios naturales o semi naturales del ecosistema de páramo, en contraste con las coberturas correspondientes al nivel general de territorios agrícolas. 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% cada cobertura (Figura 2-3).

Tabla 2-2: Distribución de las coberturas para cada nivel general de clasificación

Código	Nivel General	Descripción	Área (ha)
1	Territorios artificializados	Mina de Carbón	0.46
2	Territorios Agrícolas	Pastos limpios	342.81
		Bosque Plantado de Pino	2.67
		Pastos arbolados	1.91
		Cultivo transitorio (papa)	291.87
3	Bosques y Áreas Semi-naturales	Arbustal	191.98
		Bosque fragmentado	29.30
		Bosque de galería	48.16
		Bosque denso	178.93
		Herbazal denso	397.41
4	Áreas Húmedas	Zonas pantanosas	5.61
5	Superficies de Agua	Laguna natural	16.25
		Laguna artificial	0.28
Total			1507.65

Cobertura Páramo de Guerrero**Figura 2-3:** Distribución específica de usos y coberturas en el páramo de Guerrero.

Las coberturas seleccionadas se encuentran dentro de la zona bioclimática de Páramo-Subpáramo según van der Hammen (1974) y corresponden a cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), pastura (*Pennisetum clandestinum*), lotes con historia de producción de papa pero que durante el tiempo de muestreo no tuvieron ninguna cobertura porque se encontraban en proceso de preparación de suelo previo a la siembra. Vegetación de páramo que incluye frailejones (*Espeletia* sp.), arbustal o herbazal denso (*Cavendishia nitida*, *Clusia multiflora*, *Drimys granadensis*, entre otros) (Figura 2-4), otras especies presentes en la vegetación de páramo son *Miconia* sp., *Weinmannia* sp., *Clusia* sp., *Ilex kunthiana* y *Drimys granadensis* (Morales et al., 2007).

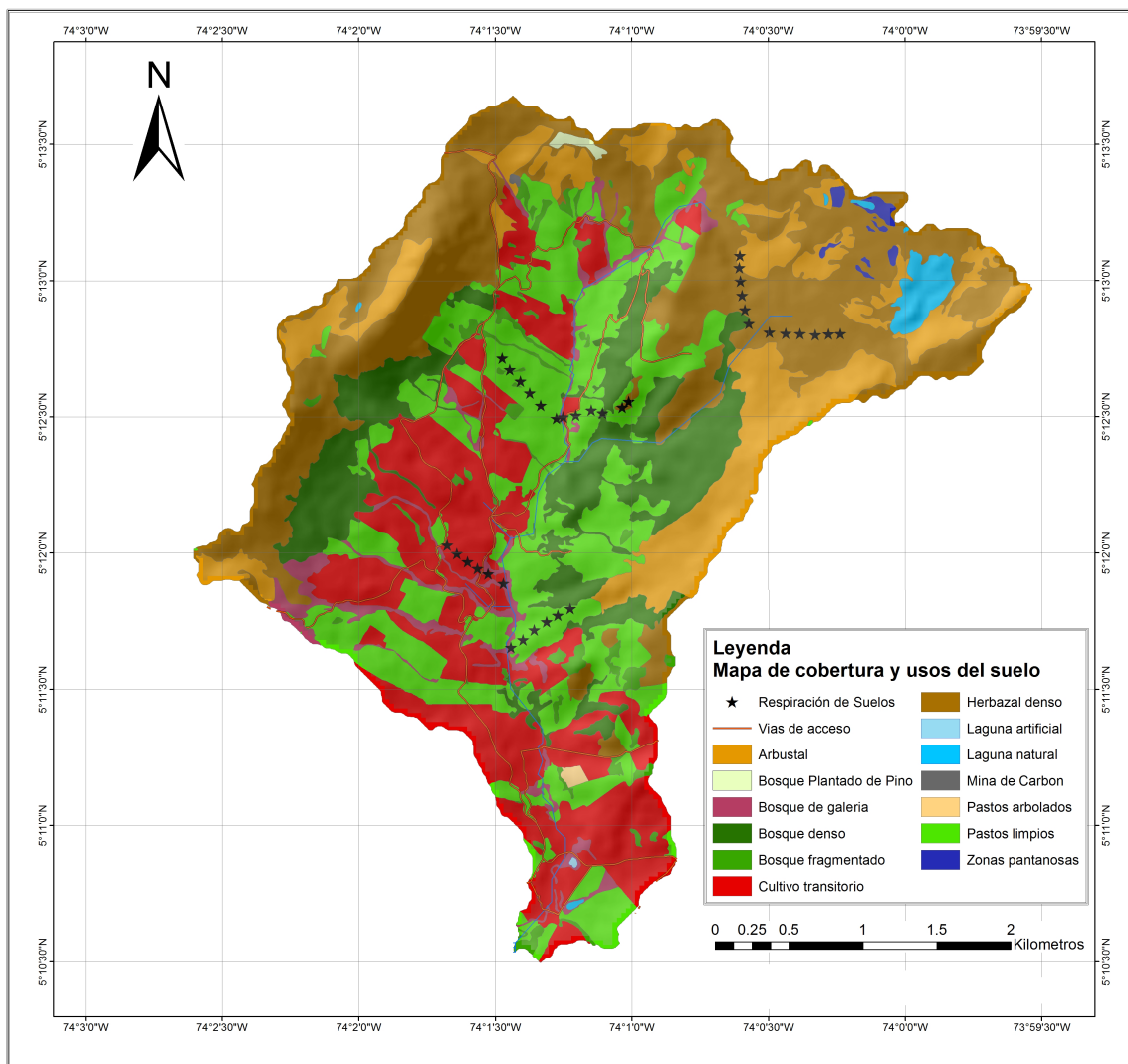


Figura 2-4: Mapa de cobertura y uso del suelo elaborado con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Con el fin de capturar la complejidad característica del terreno en las zonas de páramo andino se establecieron 36 puntos de muestreo distanciados aproximadamente, 100 m uno del otro dando como resultado los perfiles topográficos representados en la figura 2-5.

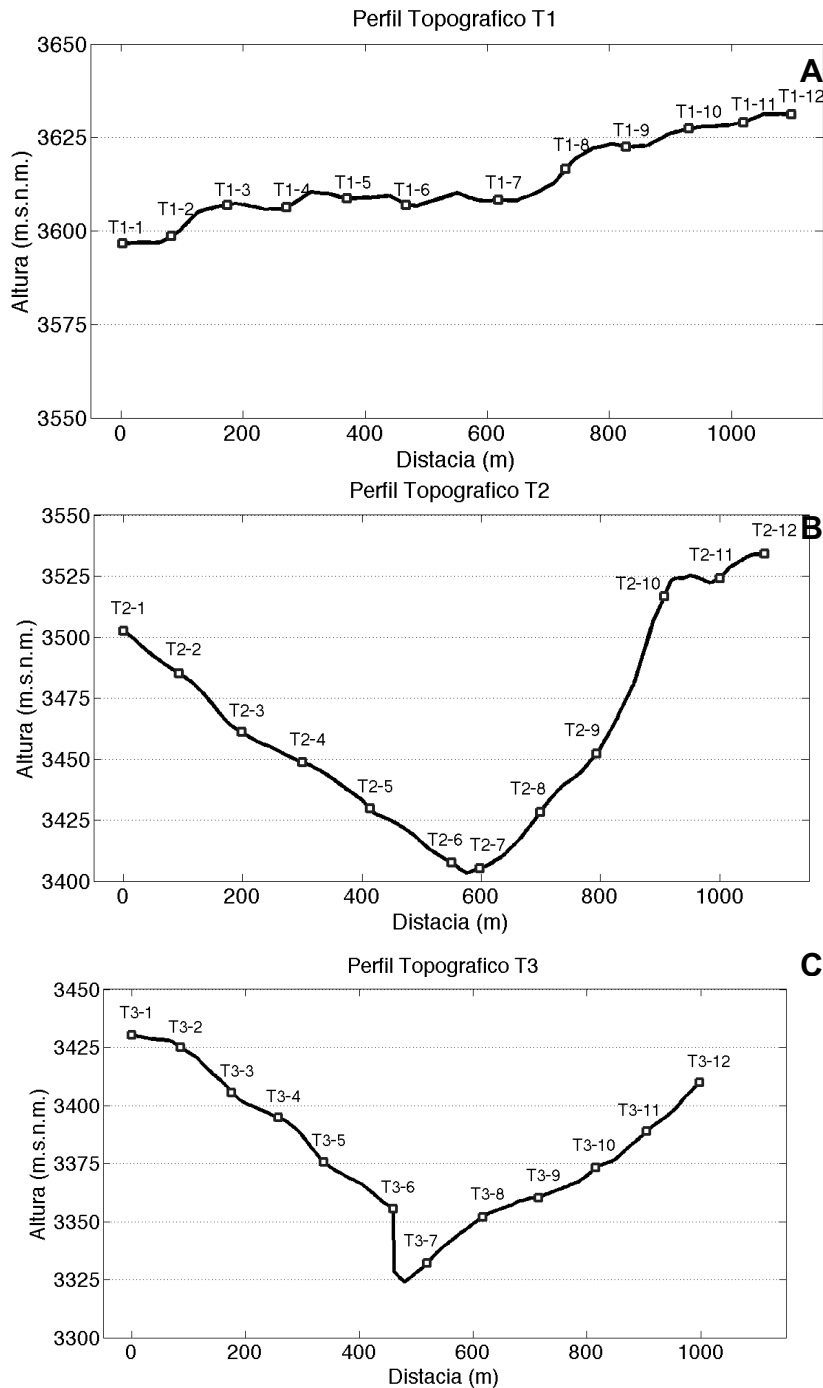


Figura 2-5: Perfiles topográficos de los transectos de medición T1 (A), T2 (B) y T3 (C).

El transecto 1 (T1) está ubicado en la zona de mayor elevación de la cuenca, con una diferencia en elevación entre el punto más bajo y el más alto del transecto de 30 m aproximadamente. Por otra parte, las diferencias en elevación de los transectos 2 (T2) y 3 (T3) son más amplias, para T2 es de aproximadamente 140 m, mientras que para T3 es de cerca de 100 m. Aunque existen diferencias de altura, los transectos T2 y T3 se encuentran ubicados en el mismo clima ambiental muy frío (temperatura entre 8 y 12 °C), mientras que el transecto T1, está ubicado en el clima extremadamente frío (temperatura entre 4 y 8 °C), esta decisión se tomó por ser el único lugar dentro de la cuenca en donde todavía existe vegetación de páramo de forma continua y no en pequeños parches, como sucede en zonas de menor altitud, dentro del área de estudio.

Durante el trabajo de laboratorio previo al muestreo se lograron ubicar las coberturas que serían parte de este estudio. Sin embargo, durante la fase de comprobación en campo, las coberturas cambiaron levemente, debido a la rotación de cultivos que se hace en la zona. Las coberturas para cada una de los transectos fueron las listadas a continuación.

T1: Cobertura de páramo

T2: Lote en preparación (cobertura anterior de barbecho o lote en descanso, 1 pase de implemento de arado de disco, 1 pase del implemento de arado rotovator), pasto y cobertura de páramo.

T3: Lote en preparación (cobertura anterior de cultivo de papa, un pase del implemento de arado rotovator), cultivo de papa y pasto.

Como punto de referencia o testigo para la evaluación de la calidad del suelo, se utilizó una zona de bosque fragmentado que no ha tenido ningún tipo de intervención agropecuaria. El testigo estaba ubicado en el mismo clima ambiental, en el un rango medio de altitud con respecto a los transectos T2 y T3, con cobertura de bosque fragmentado (sin intervención), y ubicado dentro de la misma cuenca, del testigo se tomaron muestras disturbadas de suelo a las profundidades de 5, 20 y 50 cm para su posterior análisis.

2.3 Carbono orgánico Total (COT) y flujo de CO₂ como indicadores de calidad de suelos

Un indicador es un sustituto medible de un atributo del suelo que determina que tan bien desempeña éste su función (Schoenholtz *et al.*, 2000). De acuerdo con Souza *et al.* (2014) los mejores indicadores para analizar la calidad de los suelos son el C y nitrógeno (N). Aunque la calidad y salud del suelo son un producto de las interacciones inherentes (material parental, clima y topografía) y la actividad antrópica (labranza y rotación de cultivos) (Karlen *et al.*, 2013). Resulta clave que la calidad del suelo sea fácil de medir y capaz de reflejar los cambios en las funciones del suelo, además de ser sensibles a las variaciones de manejo (Imaz *et al.*, 2010),

Prácticas de labranza intensas en cultivos anuales y semestrales aceleran el proceso de degradación física, química y biológica del suelo, reduciendo el stock de carbono por la pérdida de suelo causada por erosión y oxidación (mineralización) por los microorganismos, especialmente es zonas tropicales y subtropicales (Silva *et al.*, 1994; Souza *et al.*, 2014). La calidad de un suelo puede ser definida como la capacidad que tiene para funcionar, reflejado en la productividad biológica sostenible, la calidad ambiental y la sanidad vegetal y animal; este enfoque define al suelo como un sistema y a sus funciones definidas por el manejo y su historial (Congreves *et al.*, 2015).

Oyonarte *et al.* (2012) reportan la Rs como un indicador de la calidad porque ésta depende de dos procesos: producción y transporte de CO₂, el primero depende de la actividad biológica, mientras que el transporte está asociado a las condiciones físicas que faciliten la liberación de CO₂ a la atmósfera. El 84% de la variabilidad espacial del flujo de CO₂ es controlado por factores específicos del ecosistema (raíces, biomasa microbiana, propiedades físicas y químicas del suelo). Oyonarte *et al.* (2012) muestran resultados en suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, baja fracción de C lábil, baja actividad microbiana, textura gruesa y estructura suelta, que se caracterizan por las mayores tasas de Rs durante la estación seca. Los autores reportan que un mayor flujo de salida de CO₂ es interpretado como una mejora en el estado del ecosistema, con respecto a una condición inicial, debido al aumento de materia orgánica mineralizada. El objetivo al utilizar el flujo de CO₂ como un indicador de calidad para los suelos de páramo, es poder relacionar las bajas tasas de respiración de suelo, con un aumento en su calidad, porque al disminuir el flujo de CO₂ se podría asociar a una disminución en la

mineralización de la materia orgánica, conservando de esta forma las funciones ecológicas fundamentales en términos de captación, regulación y suministro de agua, características asociadas de forma general a los contenidos de materia orgánica.

2.4 Medición del flujo de CO₂ y variables edafoclimáticas

2.4.1 Flujo de CO₂

Para la medición de la Rs se utilizó el analizador portátil de gases infrarrojo EGM-4 (cámara cerrada móvil) con un rango de [0–2.000 ppm] (Monitor de Gas Ambiental, PP Systems, UK) y la cámara de respiración del suelos SRC-1 con un rango de calibración de [0–9,99 g CO₂*m⁻²*h⁻¹] (PP Systems, UK). Cada una de las mediciones corresponde a tres repeticiones realizadas el mismo día de muestreo. El protocolo de medición, uso del equipo y especificaciones técnicas del equipo se encuentra en el Anexo 3. El periodo de medición fue entre el 12 de enero de 2014 hasta el 27 de marzo de 2014, para un total de 540 mediciones de flujo de CO₂ con tres repeticiones cada una (1620 en total).

2.4.2 Temperatura y humedad del suelo

Con el objetivo de caracterizar las condiciones edafoclimáticas presentes en el área de estudio se realizaron 3 mediciones del contenido de humedad volumétrica del suelo con el sistema de medición portable Hydrosense II (Cambell Scientific) y 3 mediciones de temperatura, para garantizar homogeneidad en la medición, con termómetro de suelos a 12 cm de profundidad (REOTEMP) de forma conjunta con las de Rs en los mismos sitios de medición de la Rs. Las mediciones de flujo de CO₂, humedad del suelo y temperatura, se realizaron en el mismo momento del día, pero no se realizaron a la misma hora durante toda la investigación por la complejidad del terreno y el difícil acceso a la zona. Sin embargo, se aleatorizó la hora de la medición para los tres transectos, y de este modo un día se realizaban las mediciones en la mañana, otro día en la tarde y otro día se realizaban a medio día, para evitar la influencia de la hora del día en la repuesta del flujo de CO₂.

2.5 Descripción y muestreo de suelos

La descripción y el muestreo de suelos se realizó por medio de observaciones detalladas en cajuelas, de dimensiones de 50 cm (ancho) X 50 cm (alto) X 50 cm (profundo), siguiendo la metodología del manual de códigos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En las descripciones se reconocieron las características externas geomorfológicas, pendiente, clima ambiental y drenaje; y las características internas de espesor de horizontes, color en húmedo, textura, estructura, consistencia en húmedo y mojado, y reacciones químicas al HCL, H₂O₂ y NaF en papel filtro impregnado con fenolftaleína . El muestreo para densidad aparente se realizó en cilindros de 5 cm de alto en tres profundidades a 5, 20 y 50 cm, por el método del cilindro. Adicionalmente se colectaron muestras disturbadas para determinar el contenido de COT en las mismas profundidades (5, 20 y 50 cm), utilizando el método de combustión total (o analizador elemental), estas muestras también fueron analizadas para el testigo ubicado en la zona de bosque fragmentado. Las descripciones completas se encuentran en el Anexo 1.

2.6 Análisis de Datos

2.6.1 Análisis de varianza multivariado

Para contrastar la hipótesis nula, la cual afirma que la variable independiente no tiene efectos sobre las variables respuesta, en el caso específico los transectos (tomados como variable independiente) y su relación con el flujo de CO₂, la Ts y la Hs (variables respuesta) se utiliza el análisis de varianza multivariado como una extensión del análisis de varianza (ANOVA) que permite cubrir los casos donde hay más de una variable respuesta (Peña, 2002).

2.6.2 Análisis de correspondencia múltiple

Al realizar las descripciones detalladas en campo y los resultados de laboratorio, se obtuvieron las variables cualitativas de textura a diferentes profundidades (5, 20 y 50 cm), pendiente, uso y cobertura, convergencia y forma del terreno. Además, mediante el uso de conglomerados se realizó la transformación de la variable cuantitativa de flujo de CO₂ en una nueva variable cualitativa, en la que separaron 3 grupos diferentes de conglomerados para esta variable, los dos primeros grupos (C1 y C2) hacen referencia a

la totalidad de los puntos de medición del transecto T1 y el tercer grupo (C3) que agrupa a los transectos T2 y T3. El análisis de correspondencia permitió resumir la información de las variables cualitativas en un subespacio reducido, o dimensiones del plano, y de esta forma poder relacionarlas entre sí, con el objeto de medir el nivel de asociación y relación entre las variables nominales (Johnson and Wichern, 2007).

2.6.3 Ajuste de modelo de regresión simple

Fue necesario hacer el ajuste de dos modelos de regresión simple por las diferencias en las condiciones edafoclimáticas entre el transecto T1 y los transectos T2 y T3, el primer modelo fue utilizado para el transecto T1, y fue el modelo doble inverso con la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{1}{(a + \frac{b}{X})} \quad (2.1)$$

Donde Y es la variable respuesta, X es la variable explicativa y a y b son constantes. El modelo realiza una transformación inversa en X y Y, y posteriormente se vuelven a transformar para presentar los resultados en las unidades conocidas. Para modelar los transectos T2 y T3 se realizó un ajuste del modelo lineal cuadrado de Y con la siguiente ecuación:

$$Y = \sqrt{a + bX} \quad (2.2)$$

Donde Y es la variable respuesta, X es la variable explicativa y a y b son constantes. El modelo logístico realiza una transformación de la variable Y de la forma Y^2 , pero no realiza ninguna transformación en X, y posteriormente ajusta el modelo a la ecuación (2.2) y se vuelve a hacer la transformación en Y para obtener los datos en las mismas unidades.

3. Resultados y discusión

3.1 Condiciones edafoclimáticas de los transectos

En el transecto T1 hay pendientes de planas (0-3%) a fuertemente inclinadas (12-25%), mientras que en T2 y T3 las pendientes se clasifican entre fuertemente inclinada (12-25%) a ligeramente escarpada (25-50) (Figura 3-1). De igual forma existen diferencias en las condiciones de humedad del suelo, el transecto T1 registró los promedios más altos de humedad (entre 44% y 72%) que los transectos T2 y T3 (entre 19% y 31%), que pueden estar asociados a la clase de pendiente de cada uno de los transectos. Aunque, el efecto de la pendiente puede estar actuando de forma paralela con las condiciones climáticas, sobre la Hs, T1 se encuentra en un clima ambiental extremadamente frío y húmedo, mientras que T2 y T3 tienen un clima ambiental muy frío y húmedo, con una tasa de evaporación más alta que T1, por la posición altitudinal que ocupan en la cuenca.

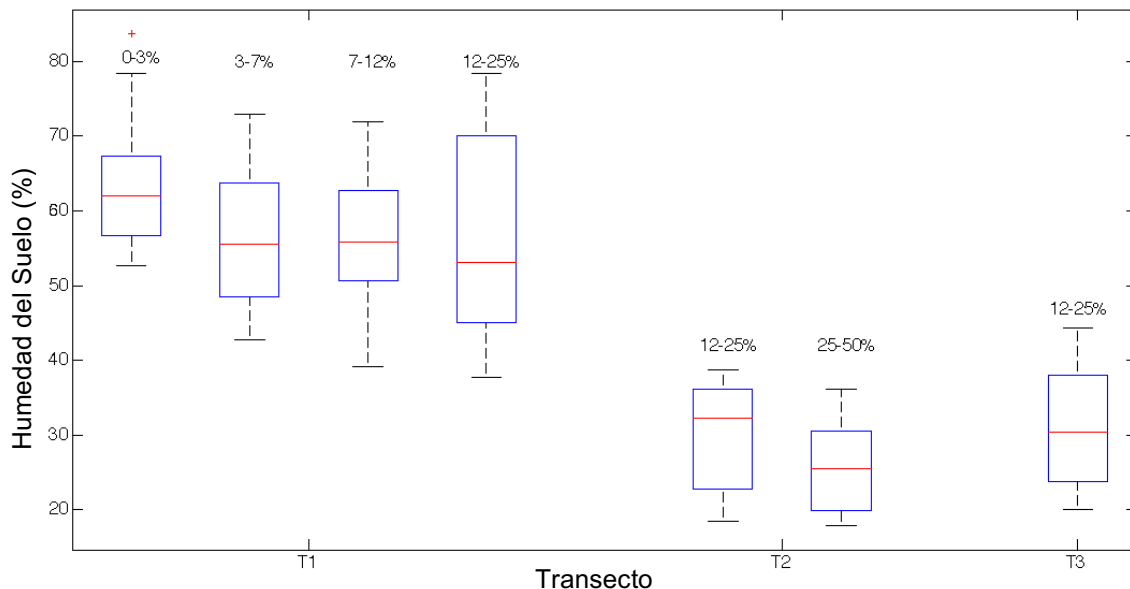


Figura 3-1: Variabilidad del contenido de humedad del suelo, en relación con la pendiente de los transectos T1, T2 y T3 en el Páramo de Guerrero (Colombia).

El contenido de humedad del suelo y la temperatura del suelo tienen una fuerte correlación lineal negativa (-0.78) (Tabla 3-1) en el experimento, siendo el transecto T1 en promedio el de mayor humedad y de menor temperatura (Figura 3-2). La variabilidad de cada uno de los transectos se puede explicar por tres razones: 1) por la hora en la que se realizó la medición. 2) Además de las condiciones edafoclimáticas y de altitud, la cobertura vegetal en T1 era diferente a la cobertura de T2 y T3, aunque en T2 tiene cobertura de páramo, esta cobertura se encontraba en condiciones diferentes de pendiente y suelo a las condiciones de T1. 3) La alta variabilidad espacial natural del flujo de CO₂. El COT tuvo una correlación positiva, débil con el flujo de CO₂ a los 5 cm de profundidad para los tres transectos, aunque no fue significativa (Tabla 3-1). Con respecto a al COT a las profundidades de 20 y 50 cm, tampoco fue significativa la correlación. La Ts y Hs, tienen una relación negativa y positiva, ambas significativas con el COT a las profundidades de 5 y 20 cm, que son las profundidades en las cuales la Hs y la Ts favorecen la acumulación o mineralización de la materia orgánica (Lal, 2007).

Tabla 3-1: Matriz de correlación del Flujo de CO₂, humedad del suelo (Hs) y temperatura del suelo (Ts) con el contenido de Carbono orgánico total (COT) a diferentes profundidades.

	CO ₂	Hs	Ts	COT5	COT20	COT50
CO ₂	1	-.133	-.013	.050	.175	.289
Hs		1	-.784**	.862**	.716**	.095
Ts			1	-.795**	-.678**	-.047
COT5				1	.870**	.152
COT20					1	.465**
COT50						1

** La correlación es significativa a un nivel de 0.01.

El Flujo de CO₂ en T1 fue menor en promedio (0.42 g CO₂ m⁻²hr⁻¹), comparado con el flujo de T2 y T3 (0.48 y 0.43 g CO₂ m⁻²hr⁻¹ respectivamente), además de un menor coeficiente de variación (T1=30%, T2=46% y T3=43%), que puede estar asociado con la homogeneidad de coberturas en T1, mientras que T2 y T3 tenían 3 coberturas diferentes. Los valores reportados de flujo de CO₂, son similares a los reportados por Shahidi *et al.* (2014) en dos suelos agrícolas (alfisol y molisol) bajo sistemas de labranza convencional y sin labranza, ambos suelos estuvieron en los rangos de 0.4 a 1.2 g CO₂ m⁻²hr⁻¹, aunque el molisol presentó valores más altos de flujo de CO₂ después de las labores de labranza,

probablemente por el mayor contenido de carbono orgánico. También, Liu *et al.* (2011) reportan valores similares en un oxisol con plantaciones de bambú en la región subtropical de China, para condiciones diferentes al invierno, en la estación de invierno el flujo de CO₂ disminuye hasta menos de 0.1 g CO₂ m⁻²hr⁻¹.

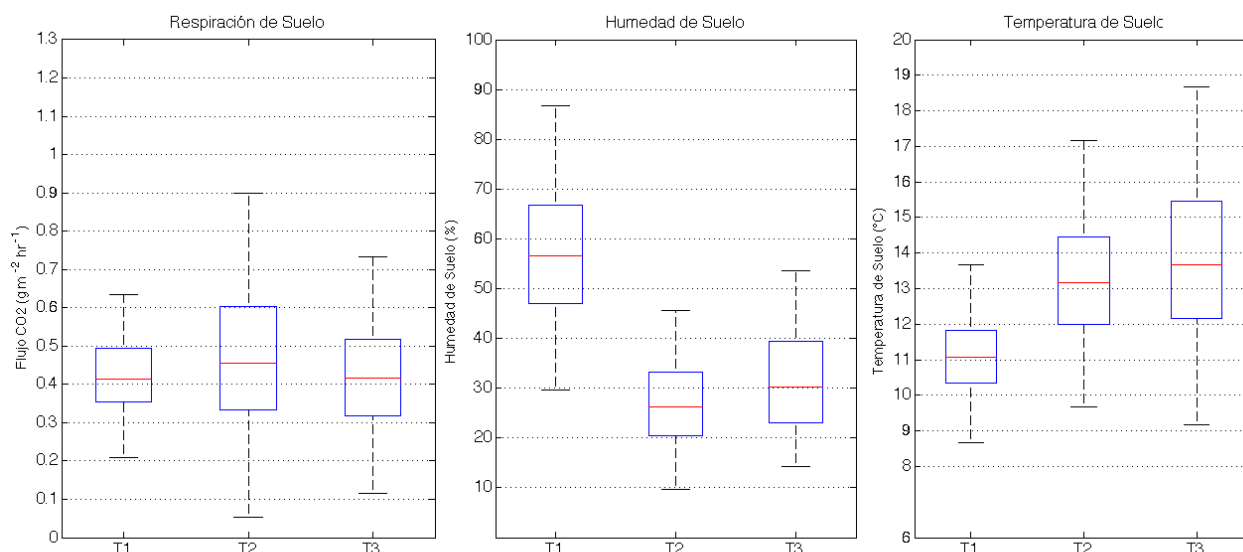


Figura 3-2: Variabilidad del flujo de CO₂, contenido de humedad y la temperatura del suelo en los transectos T1, T2 y T3 en el Páramo de Guerrero.

El efecto de la variable independiente “Transecto” sobre las variables dependientes flujo de CO₂, Ts y Hs (Tabla 3-2) es significativo, y con las pruebas de Wilks' Lambda y Pillai's Trace (Pr>F = <0.0001) se rechaza la hipótesis nula sobre el no efecto del transecto sobre las variables dependientes, lo que evidencia la influencia que tiene la posición sobre las condiciones edafoclimáticas de cada sitio y el flujo de CO₂.

Tabla 3-2: Suma de cuadrados y productos cruzados (SCPC) para el MANOVA

Fuentes de Variación	SCPC			p-Valor
Transectos	0.30	-96.17	5.37	<.0001
	-96.17	88091.77	-7732.67	
	5.37	-7732.67	725.90	
Error	18.23	26.57	0.53	
	26.57	59995.72	-3638.61	
	0.53	-3638.61	2033.92	
Total	18.54	-69.60	5.90	
	-69.60	148087.50	-11371.28	
	5.90	-11371.28	2759.82	

Con el test de Bonferroni se contrastaron los efectos entre cada uno de los transectos, para cada variable. La Tabla 3-3 muestra que el flujo de CO₂ en el transecto T1 tiene diferencias significativas con el transecto T2, pero no con el transecto T3, lo cual se puede observar en la Figura 3-2. En la Tabla 3-4 se observa que existen diferencias significativas con respecto al contenido de humedad entre los tres transectos, mientras que la Tabla 3-5, muestra que solo existe diferencias significativas en términos de temperatura de suelo entre T1 y los transectos T2 y T3 (también en la Figura 3-2), no obstante, no existen diferencias entre los transectos T2 y T3 en la Ts.

Tabla 3-3: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable flujo de CO₂.

Comparación de Transectos	Diferencia entre medias	Límites de confianza simultáneos 95%		
T2 - T3	0.05036	0.00284	0.09787	***
T2 - T1	0.05127	0.00195	0.10059	***
T1 - T3	-0.00091	-0.05036	0.04853	

Tabla 3-4: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable de Hs.

Comparación de Transectos	Diferencia entre medias	Límites de confianza simultáneos 95%		
T1 - T3	26.565	23.729	29.401	***
T1 - T2	29.936	27.107	32.764	***
T3 - T2	3.37	0.645	6.096	***

Tabla 3-5: Prueba de Bonferroni para comparación entre transectos para la variable Hs.

Comparación de Transectos	Diferencia entre medias	Límites de confianza simultáneos 95%		
T2 - T3	-0.4216	-0.9233	0.0802	
T2 - T1	2.342	1.8212	2.8628	***
T1 - T3	-2.7636	-3.2857	-2.2415	***

3.2 Flujo de CO₂ por cobertura vegetal

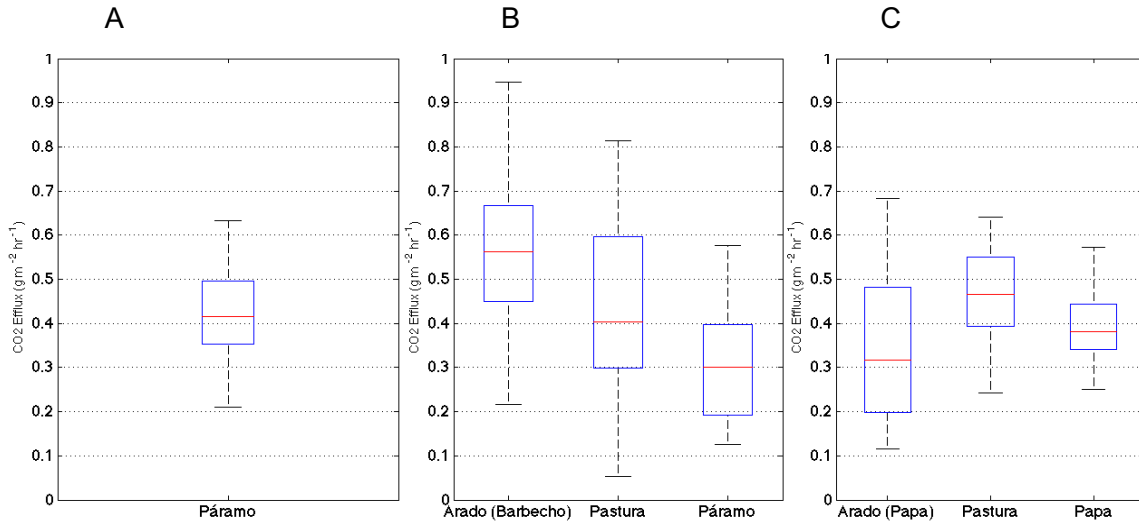
Al analizar el flujo de CO₂ de cada una de las coberturas (Figura 3-3), se observa que no existen diferencias significativas, aunque visualmente se observa la diferencia entre cada una de las coberturas. En las coberturas de arado (barbecho) y arado (papa) se esperaría un comportamiento similar, por tener las mismas condiciones de puntos sin cobertura vegetal, pero difieren en su historial de manejo.

En el lote de arado (barbecho) se utilizó el arado de disco a profundidad de 30-40 cm al iniciar el experimento y un pase de rotavator a una profundidad de 10-20 cm aproximadamente un mes después de iniciar el experimento, con el objetivo de romper la estructura del suelo e incorporar el material vegetal que estaba en la superficie, proporcionando mejores condiciones físicas de aireación y porosidad del suelo para el desarrollo del cultivo. Al realizar estas labores, el material vegetal fresco y/o en algún grado de descomposición es incorporado al suelo; además la oxigenación que se genera en el suelo al romper la estructura de los agregados, favorecen el proceso de mineralización de la materia orgánica (Kutsch *et al.*, 2010), y como productos principales se obtiene un mayor flujo de CO₂ hacia la atmosfera.

En los puntos de arado (papa) solo se realizó un pase de arado del implemento rotovator a profundidad de 10-20 cm, aproximadamente tres meses después de la cosecha del cultivo de papa, y 1 mes después del inicio del experimento. A diferencia del arado de disco, el rotovator tiene como objetivo acondicionar el suelo para la siembra de la nueva semilla y el desarrollo óptimo de los tubérculos de la papa.

El transecto T1 y T2 tienen la misma cobertura de páramo, con una composición de especies vegetales similares, y sin ningún tipo de intervención antrópica severa. La diferencia entre estas dos coberturas que puede estar regulando la repuesta del flujo de CO₂, son las características geomorfológicas en T2, de pendiente principalmente y morfológicas del perfil de suelo, por profundidad y espesor de horizonte. En el transecto T1 con cobertura de páramo, se tienen suelos con profundidades mayores a 50 cm (Anexo 1), y pendientes menores a 25%, mayor altitud de aproximadamente 100 msnm, en comparación con la cobertura de páramo presente en el transecto T2, que tiene pendientes entre el 25 y 50%, en la cima de la ladera, con profundidades de menos de 60 cm (Anexo

1), estas condiciones pueden estar interviniendo en los procesos de acumulación de materiales orgánicos (insumo principal en el flujo de CO₂), al igual que las condiciones



ambientales diferentes a las de T1, por estas razones, el flujo de CO₂ en T2 bajo la cobertura de páramo tiene un menor promedio en relación con T1.

Figura 3-3: Variabilidad del flujo de CO₂ por cobertura en cada una de los transectos T1 (A), T2 (B) y T3 (C) en el Páramo de Guerrero.

3.3 Efecto del tipo de manejo del suelo en el flujo de CO₂

A través del análisis de los resultados obtenidos (figura 3-4 y figura 3-5) en los dos lotes con tipos de arado (barbecho y papa), donde cada uno de las líneas representan la totalidad de las mediciones durante el periodo de medición para cada parcela de muestreo, para el transecto T2 son 6 parcelas de muestreo (6 líneas) y para el transecto T3 (4 líneas). Se logró identificar dos periodos de comportamiento diferente del flujo de CO₂, después de cada una de las labores de labranza del suelo, con cada uno de los instrumentos utilizados.

El periodo A hace referencia al aumento significativo del flujo de CO₂, inmediatamente después de alguna práctica de labranza y el periodo E hace referencia al periodo de regulación o estabilización del flujo de CO₂. En el arado (barbecho) se pueden identificar dos periodos de aumento significativo de flujo de CO₂ (periodo A), que coinciden con las dos labores de labranza realizadas en este lote, mientras que en el arado después de

(papa) solo existe un periodo A considerable del flujo de CO₂, asociada al único evento de labranza.

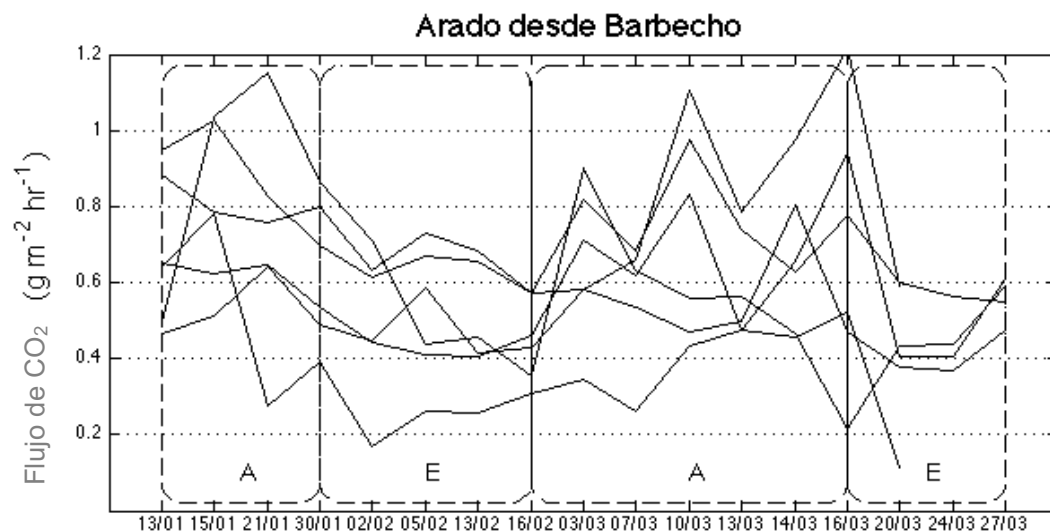


Figura 3-4: Efectos del manejo del suelo sobre el flujo de CO₂ en los transectos T2, con cobertura de arado y cobertura anterior de barbecho, en el Páramo de Guerrero.

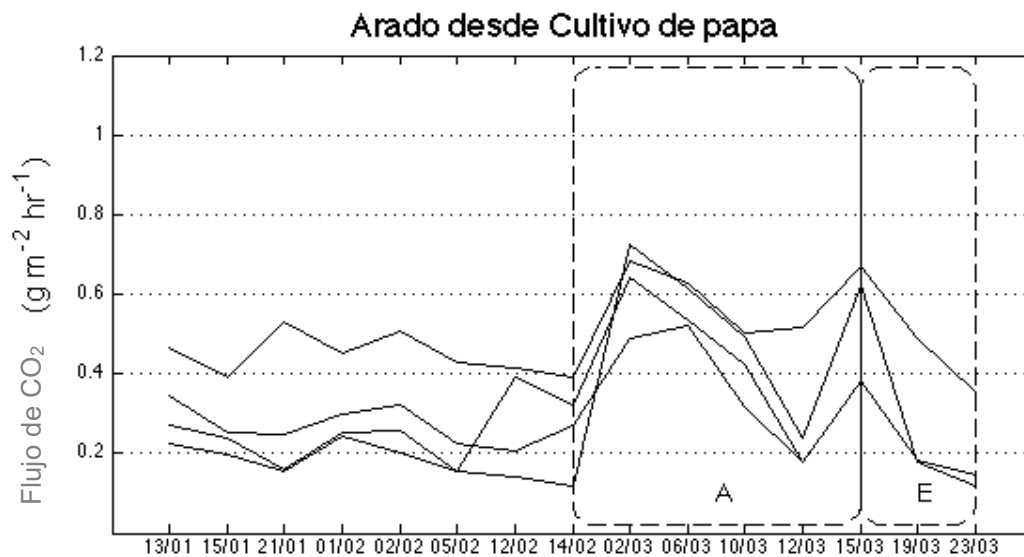


Figura 3-5: Efectos del manejo del suelo sobre el flujo de CO₂ en los transectos T3, con cobertura de arado y cultivo anterior de papa, en el Páramo de Guerrero.

Se encontró un aumento de 2 a 4 kg ha⁻¹h⁻¹ de CO₂, después de la primera labor de arado de disco, por tratarse de la primera labor de labranza que se realiza en este lote, después del periodo de descanso, va a tener un impacto mayor en el aumento del flujo de CO₂ del suelo a la atmosfera, este comportamiento concuerda con el reportado por (Shahidi *et al.*,

2014), y en el segundo evento hubo un aumento de 1 – 3 kg ha⁻¹h⁻¹ de CO₂, en el lote de arado (barbecho). Por otra parte, en el lote de arado (papa) el aumento de CO₂ fue menor 2 a 3 kg ha⁻¹h⁻¹, estos resultados son mayores con respecto a los reportados por otros autores que obtuvieron aumentos de aproximadamente 3.3 kg ha⁻¹h⁻¹ de CO₂, durante las primeras 6 horas después de la labranza (Ellert and Janzen, 1999), o aumentos de 0 a 0.5 kg ha⁻¹h⁻¹ de CO₂ durante la primera semana de medición (Shahidi *et al.*, 2014). Estos resultados pueden ser debido a la aireación y mezcla de residuos de incrementa la actividad microbial en la rizosfera y los agregados del suelo, y prevalece en estos periodos de aumento de flujo de CO₂ la Rh, sobre la Ra (Shahidi *et al.*, 2014).

3.4 Análisis de la calidad del suelo

Los diferentes tipos de manejos pueden condicionar en gran medida la calidad del suelo. En la Figura 3-6 se muestra el contenido de C orgánico total (COT) para los tres transectos de estudio, en cada una de las parcelas de medición (barras), las barras faltantes hacen referencia a los puntos en los cuales la profundidad del suelo limitó la toma de muestras indisturbada, por ser suelos de superficiales a muy superficiales. No se utilizó el promedio de los datos por transecto, con el objetivo de evidenciar las pérdidas y acumulaciones diferenciadas según el efecto de cada uno de los manejos, y la intensidad de los mismos. Los porcentajes de COT de T2 y T3 son menores que los porcentajes de T1 y el testigo, lo que puede estar relacionado con las coberturas e intensidad de los manejos en los transectos T2 y T3, principalmente cultivos anuales y semestrales como la papa (*Solanum tuberosum*), o de rotación como las pasturas o el barbecho (Wang *et al.*, 2006). Las condiciones ambientales del testigo fueron las mismas que en T2 y T3, se esperaba un comportamiento similar en cuanto al contenido de COT. Sin embargo, los transectos T2 y T3 tienen menor contenido de COT.

Partiendo del principio que la calidad del suelo debe ser fácil de medir y capaz de reflejar los cambios en las funciones del suelo, sensible a las variaciones de manejo (Imaz *et al.*, 2010), el contenido de COT en estos suelos ayuda a determinar su calidad. T1 tiene contenidos de COT más altos que los demás transectos y puede estar relacionado con las condiciones ambientales en las que se encuentran, un mayor contenido de humedad y temperatura más baja y además una menor intervención antrópica, que favorecen el proceso de acumulación sobre la mineralización del C (Figura 3-7), por tal razón T1, es el

suelo con mayor calidad dentro del área de estudio. Para los transectos T2 y T3 que son y han sido utilizados para la agricultura, los diferentes tipos de uso, manejo y cobertura, probablemente han ocasionado pérdidas en los contenidos de COT, porque las prácticas de manejo que comúnmente controlan el almacenamiento del C orgánico, la labranza, las fertilizaciones químicas, la rotación de cultivos y densidad de siembra, son las más importantes (Lal, 2003).principalmente por la acción de la labranza y la dirección de las camas de siembra a favor de la pendiente, son los suelos con menor calidad dentro de la cuenca de estudio.

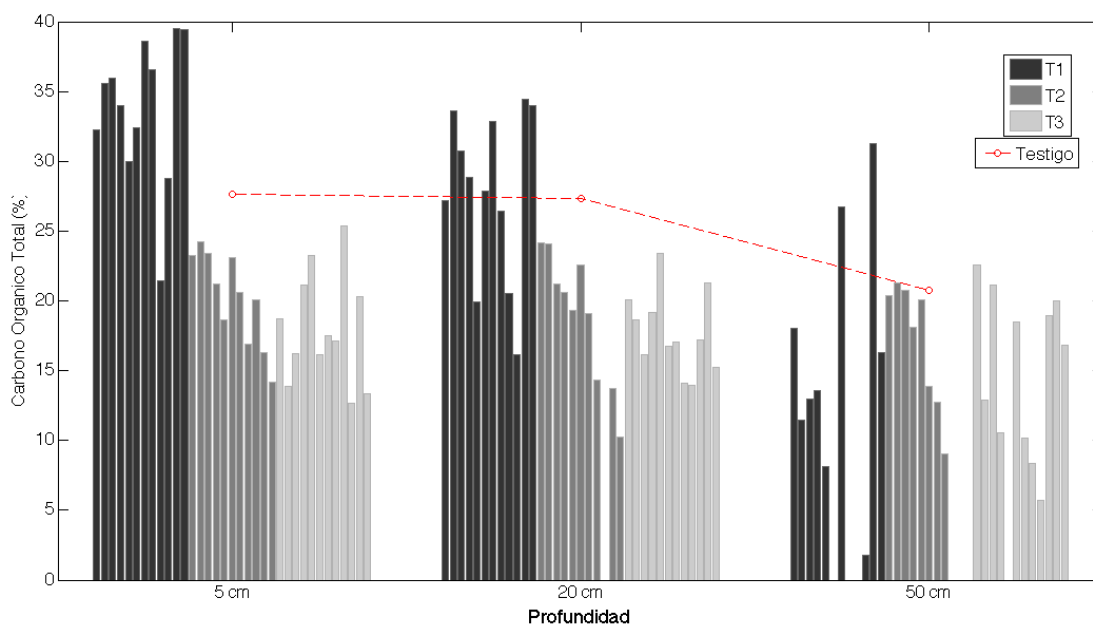


Figura 3-6: Efectos del tipo de manejo del suelo sobre COT en los transectos T1, T2 y T3, con el testigo de bosque natural en el páramo de Guerrero.

Resulta evidente que las mayores pérdidas de COT se encuentran asociadas a las profundidades de 5 y 20 cm, por la acción directa de las diferentes prácticas de labranza, en las que la profundidad óptima para el desarrollo de los cultivos, en especial la papa, es de 30 a 40 cm.

Los efectos del cambio de cobertura y su manejo en los transectos T2 y T3 han ocasionado una pérdida aproximada de un 5% del COT en promedio para los primeros 5 cm de profundidad, pero a 20 cm de profundidad las pérdidas de COT son mayores, llegando a un 8% aproximadamente en promedio (Figura 3-5) con respecto al testigo. Para la profundidad de 50 cm, los contenidos de COT son similares entre T2, T3 y el testigo. Los resultados en el COT son inferiores a los reportados por Motavalli *et al.*

(2000) quienes encontraron pérdidas entre el 20 y 40% del carbono orgánico en suelos con cambio de cobertura de bosque a cultivos agrícolas, resultados similares fueron reportados por Dube *et al.* (2009) con pérdidas del 44% del contenido de carbono orgánico en los 10 cm superficiales del suelo, cuando se realizó el cambio de bosque

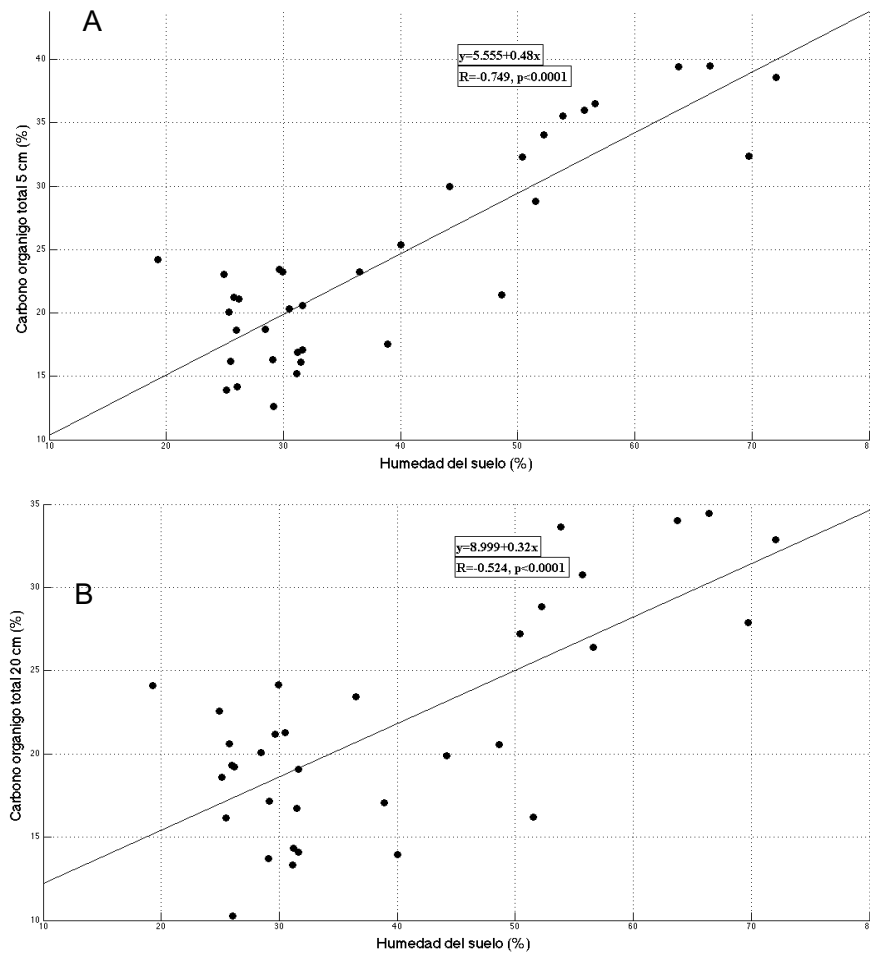


Figura 3-7: Regresión positiva entre la Hs y el COT a los 5cm (A) y a los 20 cm de profundidad (B).

natural sin manejo a plantaciones de pino. Las técnicas de labranza constantes, en especial el uso de arado de vertedera en asociación con otros tipos de arado (cincel, disco, cincel rígido), pueden tener el mayor impacto negativo sobre varios indicadores de calidad del suelo, en especial los asociados con COT (Karlen *et al.*, 2013). El contenido de COT en cada una de los transectos no condicionó las dinámicas de liberación de C hacia la atmósfera en forma de CO₂.

3.5 Análisis de correspondencia múltiple

Mediante el análisis de correspondencia múltiple, dos dimensiones representaron el 58% del análisis, la primera dimensión un 46% y la segunda con un 11.98%. La primera dimensión separa la cobertura de páramo (Cb. Páramo), las pendientes menores de 12% (P.0-3, P.3-7 y P.7-12), la forma de terreno de planicie (LF. Planicie), los conglomerados C1 y C2, la forma de la pendiente (convergencia) plana (Cv. Flat_flat), cóncava-convexa (Cv. Cv_cx) y las texturas arenosa franca en las tres profundidades (T5.AF, T20.AF y T50.AF) (Figura 3-8). Estas variables cualitativas son en su mayoría las variables que caracterizan al transecto T1, mientras que las demás variables que corresponden a los transectos T2 y T3, no tienen una diferenciación clara entre ellos. Esto confirma las diferencias que existen entre el transecto T1 y los dos transectos T2 y T3. Por consiguiente el análisis del controlador principal del flujo de CO₂ se dividió en dos partes, T1 y los transectos T2 y T3.

Las condiciones edafoclimáticas de Ts y Hs mostraron que el transecto T1 tiene características diferentes a los transectos T2 y T3. De manera similar, en el análisis de correspondencia se evidencia que las características morfométricas, geomorfológicas, físicas y de cobertura del suelo del transecto T1 no son compartidas con los transectos T2 y T3, por consiguiente su análisis debe ser realizado de forma separada, con el fin de caracterizar el comportamiento del flujo de CO₂ en T1, diferente de T2 y T3.

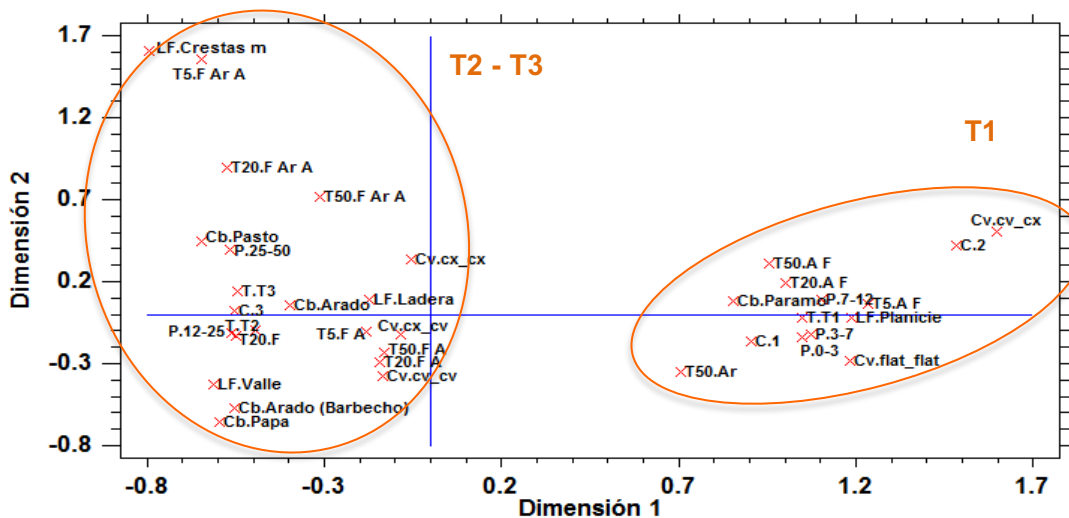


Figura 3-8: Análisis de correspondencia múltiple en dos dimensiones, con variables cualitativas de textura a diferentes profundidades (T5, T20 y T50), pendiente (P), cobertura (Cb), convergencia (Cv) y forma del terreno (LF).

3.6 Ajuste de modelo de regresión simple para las variables edafoclimáticas

La temperatura y la humedad del suelo no ajustaron estadísticamente a ningún modelo de regresión simple o polinomial con respecto al flujo de CO₂. Mientras que las variables de temperatura y la humedad, si tienen una relación estadísticamente significativa entre las dos ($P < 0.0001$) y un $R^2 = 61\%$. La Figura 3-9 muestra que la humedad y la temperatura del suelo no son los principales controladores del flujo de CO₂ en las condiciones del páramo de Guerrero, porque no tienen relación directa con esta variable. Diversos autores señalan a la humedad como el principal controlador de la R_s (Graf *et al.*, 2012; Riveros-Iregui *et al.*, 2011) y otros autores señalan que la temperatura es el principal controlador de la R_s (Acosta *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2011; Subke and Bahn, 2010; Tang *et al.*, 2003). Sin embargo, Oyonarte *et al.* (2012) reporta que el controlador principal puede cambiar dependiendo de la época (estación) en la que se realice la medición. En este sentido, existen otros controladores principales del flujo de CO₂, de tipo edáfico y microbiológico, como el COT y la presencia y actividad de los microorganismos.

Para el transecto T1 se ajustó el modelo doble inverso lineal que fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) para las profundidades de 20 y 50 cm (Figura 3-10). Las ecuaciones para los modelos ajustados son 3.1 y 3.2 para 20 y 50 cm respectivamente.

$$CO_2 = \frac{1}{(1.60278 + \frac{18.8697}{COT_{20}})} \quad (3.1)$$

$$CO_2 = \frac{1}{(2.12245 + \frac{1.51319}{COT_{50}})} \quad (3.2)$$

Donde CO₂ es el flujo de CO₂, COT₂₀ y COT₅₀ son los contenidos de COT medidos a 20 y 50 cm. Los modelos en el transecto T1 presentaron un mayor ajuste que los modelos del transecto T2 y T3. El R^2 para estas profundidades (20 y 50 cm) fue de 37 y 52% con coeficiente de correlación de 0.61 y 0.72 respectivamente, las líneas verdes continuas son los intervalos de confianza y las líneas grises son los intervalos de predicción.

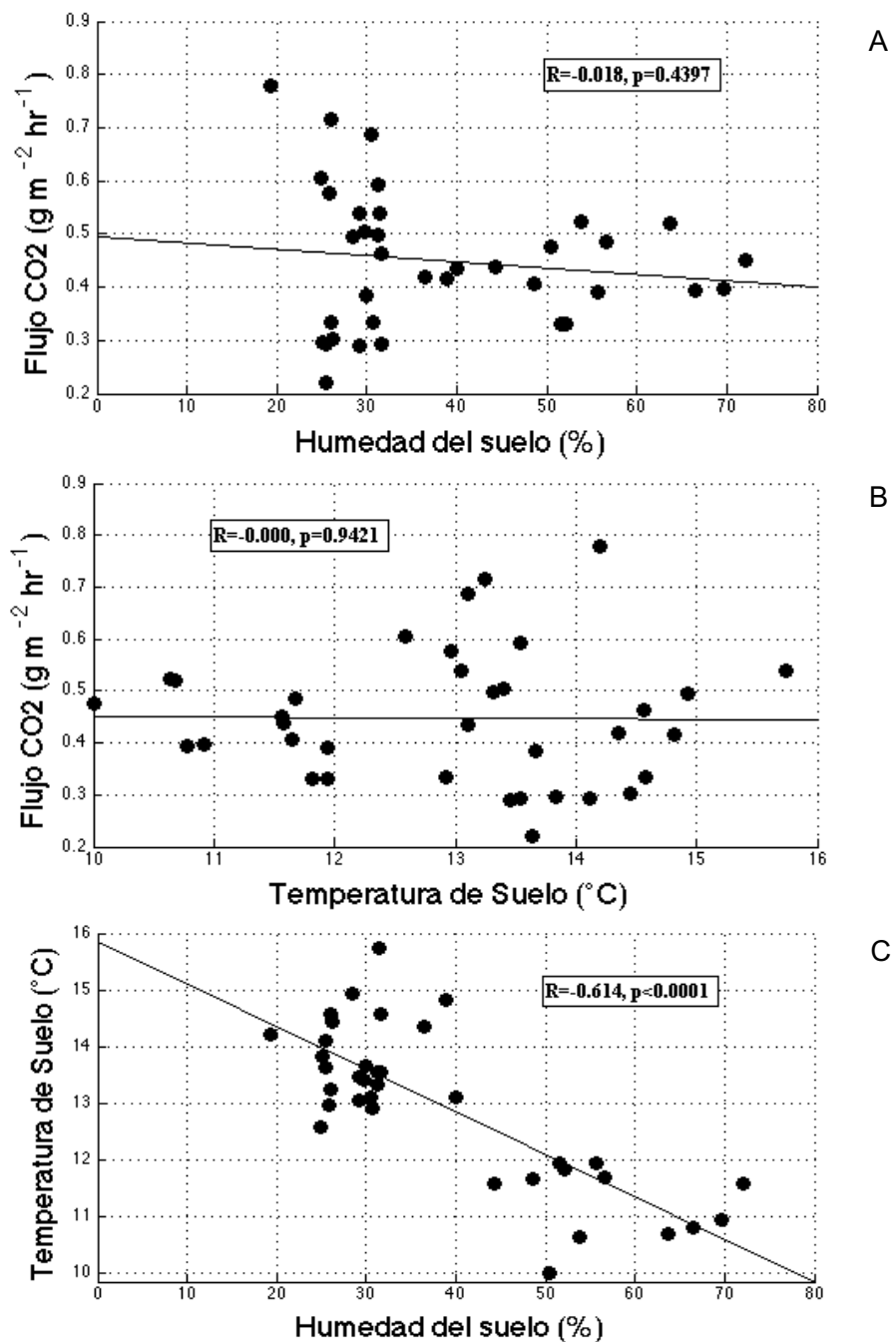


Figura 3-9: Regresión lineal no significativa del flujo de CO₂ con la humedad del suelo en los tres transectos (A), regresión lineal no significativa entre el flujo de CO₂ y la temperatura en los tres transectos (B), regresión lineal significativa entre la humedad del suelo y la temperatura en los tres transectos (C).

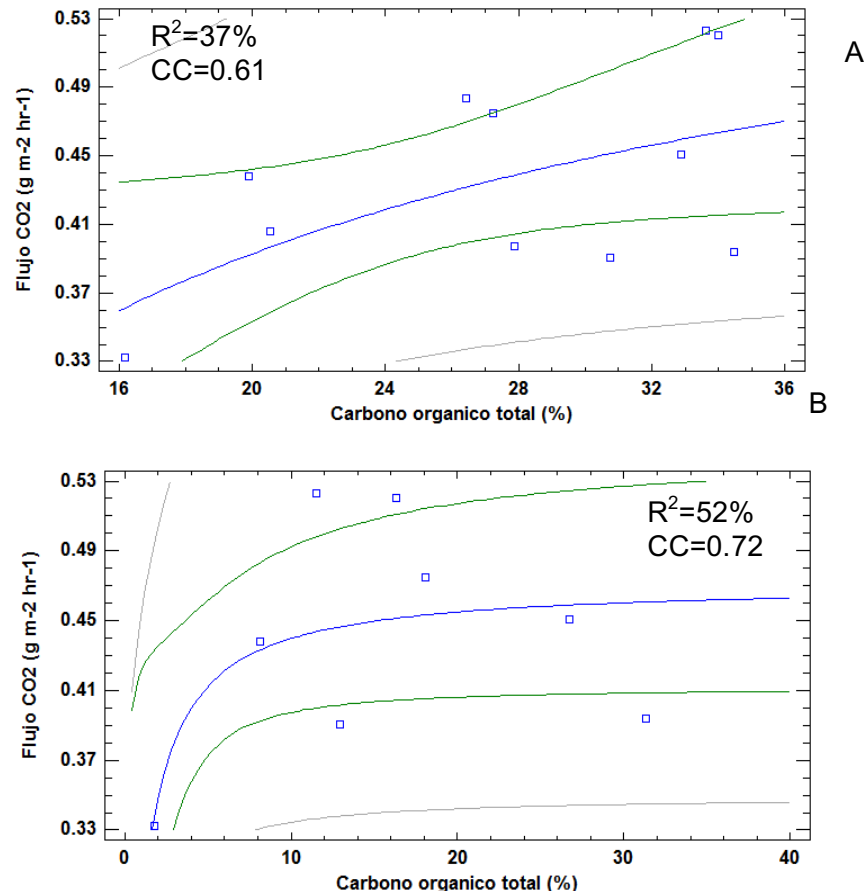


Figura 3-10: Modelo de ajuste de regresión simple para el flujo de CO₂, con respecto al COT en los 20 cm (A) y a los 50 cm (B) de profundidad para el transecto T1.

Como se puede observar, los modelos tienen intervalos de confianza y límites de predicción muy amplios, que puede estar relacionado al bajo número de muestras de COT en relación con el flujo de CO₂.

En los transectos T2 y T3 se ajustó el modelo lineal cuadrado de Y para la regresión simple. Para las profundidades de 20 y 50 cm, hubo significancia estadística ($P < 0.05$) lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables de flujo de CO₂ y el COT.

Los modelos que se ajustaron para la profundidad de 20 cm y 50 cm son las ecuaciones 3.3 y 3.4 respectivamente.

$$CO_2 = \sqrt{-0.109283 + 0.0190651 * COT20} \quad (3.3)$$

$$CO_2 = \sqrt{-0.0417606 + 0.0146213 * COT20} \quad (3.4)$$

Donde CO_2 es el flujo de CO_2 , COT20 y COT50 son los contenidos de COT medidos a 20 y 50 cm. Las gráficas de ajuste de los modelos (Figura 3-11) tienen un R^2 de 25 y 23 % para las profundidades de 20 y 50 cm, respectivamente. El coeficiente de correlación entre las dos variables indica que existe una relación moderadamente fuerte (0.55 y 0.48), las líneas verdes hacen referencia a los intervalos de confianza y las líneas grises a los límites de predicción.

Los R^2 del ajuste de la regresión lineal para los dos transectos son bajos con respecto a lo reportado por otros autores (Zhou *et al.*, 2013). Sin embargo, el ajuste de los dos modelos (logístico y doble inverso) fue significativo para las profundidades de 20 cm y 50 cm, y es muy probable que las correlaciones aumenten con un mayor número de observaciones. Zhou *et al.* (2013) reportaron que usando el análisis de regresión lineal, con algunas variables de tipo biofísico, que el contenido de carbono orgánico almacenado en raíces y en el suelo, mostró correlaciones superiores al 64%, con un máximo de 77% de las variaciones anuales del flujo de CO_2 . Teniendo en cuenta que un flujo más alto de CO_2 en las zonas de bosque estaba asociado al mayor contenido de carbono orgánico. Este comportamiento no se registró en el presente trabajo, porque el transecto con mayor contenido de COT no registro el mayor flujo de CO_2 hacia la superficie, aunque ese puede estar controlado por las condiciones más frías y húmedas que presentar un comportamiento distinto en términos de liberación de C a la atmósfera (Chaplot *et al.*, 2015). El controlador principal del flujo de CO_2 en las condiciones del páramo de Guerrero es el COT, que aunque no representa un R^2 muy grande, tiene coeficientes de correlación de moderadamente fuerte a fuerte. A diferencia del contenido de humedad y la temperatura del suelo.

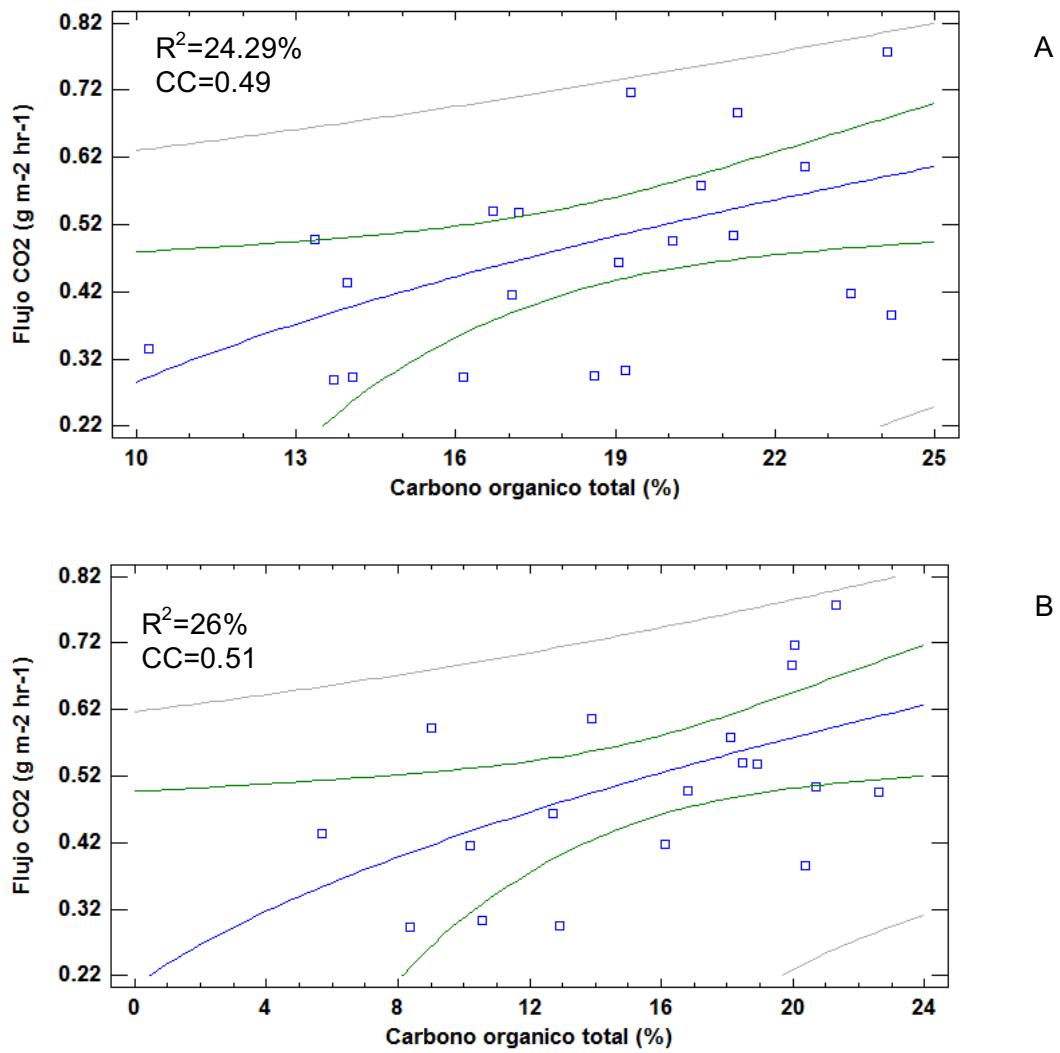


Figura 3-11: Modelo de ajuste de regresión simple para el flujo de CO₂, con respecto al COT en los 20 cm (A) y a los 50 cm (B) de profundidad para los transectos T2 y T3.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La inclusión de parámetros topográficos confirma la relación existente entre la génesis del suelo y la posición relativa que este ocupa, la cual se explica con la relación, pendiente, humedad del suelo, convergencia y contenido de carbono orgánico.

Los cambios en la cobertura vegetal del suelo afectan diferencialmente la acumulación y dinámica de liberación de carbono orgánico del suelo a la atmósfera y están asociados a los tipos de manejo. El uso de las técnicas de labranza convencional en cultivos semestrales y anuales, genera picos de emisiones de CO₂ por el aumento en el proceso de mineralización del carbono orgánico del suelo, cuando este es disturbado. Mediante la estimación del flujo de CO₂ es posible generar estrategias de manejo y protección de los páramos andinos. En este trabajo se encontró que la dinámica de liberación del carbono en el suelo está asociada a las prácticas de manejo de los tipos de uso del suelo.

Mediante la utilización de cámaras portátiles cerradas fue posible medir la variabilidad espacial y temporal del flujo de CO₂ en las condiciones de topografía, ambientales y de coberturas en el páramo de Guerrero, y poder asociarlas con los tipos de coberturas y las condiciones edafoclimáticas.

El carbono orgánico total fue la propiedad del suelo que tuvo mayor correlación y ajuste significativo a los modelos lineales con la variable de flujo de CO₂ en condiciones del páramo de Guerrero. Sin embargo, es muy probable que el ajuste tan bajo que tuvieron los modelos de predicción de flujo de CO₂ estén asociados a al bajo número de mediciones, además de la variabilidad espacial y la heterogeneidad del suelo.

4.2 Recomendaciones

Para los próximos estudios sobre el flujo de CO₂, es necesario tener en cuenta las variables microbiológicas de actividad y respiración microbiana, para tener un panorama más claro sobre el componente heterótrofo de la respiración del suelo.

Para caracterizar la heterogeneidad de la zona de páramo se requiere un número mayor de observaciones a distancias más cortas, así mismo los modelos de ajuste para la variable flujo de CO₂, generalmente son realizados con mediciones de transectos más cortos.

Para poder capturar los efectos de los cambios en las condiciones edafoclimáticas como controladores principales del flujo de CO₂ es necesario cubrir por lo menos dos periodos contrastantes de condiciones climáticas (periodo seco – periodo de lluvias).

5. Anexos

5.1 Anexo 1: Descripción de Cajuelas

Perfil N°: T1-1

Fecha: 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-1

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 7-12 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 44 cm	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y grandes, moderada, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
A	

44-52 cm 2A	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), con gravilla en un 10% de formas angulares, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos, fuerte, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
52-97 cm AB	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR4/6), con gravilla en un 40% de formas angulares, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
97-X cm C	Color en húmedo gris verdoso (GLEY 1 6/10Y), con gravilla en un 40% de formas angulares, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-2

Fecha: 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-2

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 7-12 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 41cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y grandes, moderada, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
41-54 cm 2A	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR3/4), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos, moderada, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
54-X cm C	Color en húmedo pardo oliva claro (2.5Y5/3), con un 20% de manchas de pardo amarillentas (10YR5/8), textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-3

Fecha: 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-3

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 3-7 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: Hídrica laminar y eólica

Tipo: Ligera

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 40cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos y medianos, moderada, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
40-65 cm 2Ag	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), con 5% de gravilla, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos y medianos, bien desarrollada, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y moderada al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
65-116 cm C	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), con manchas de 20% pardo oliva claras (2.5Y5/4) y 20% amarillo oliva (2.5Y6/8), textura franco arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-4

Fecha: 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-4

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 3-7 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Roccosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 14cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y grandes, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
14-56 cm 2Ag	Color en húmedo gris oscuro (2.5Y4/1), , con manchas de 40% pardo grisáceo oscuro (2.5Y4/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y grandes, moderada, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
56 – X cm C	Color en húmedo pardo oliva claro(2.5Y5/6), con moteados del 20% pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.

Perfil N°: T1-5**Fecha:** 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-5**Municipio:** Tausa**Altitud:** 3600 m.s.n.m.**Paisaje:** Montaña**Coordenadas:****Departamento:** Cundinamarca**Tipo de Relieve:** Artesa**Forma del Terreno:** Planicie**Material Parental:** Cenizas Volcánicas**Pendiente:** Gradiente: 3-7 %**Clima Ambiental:** Extremadamente Frio y húmedo**Clima Edáfico:** Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: Hídrica laminar y eólica

Tipo: Ligera

Afloramientos Roccosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 48cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
48-80 cm 2A	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos y medianos, moderada, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
80 – X cm C	Color en húmedo pardo muy claro (10YR7/3), con manchas de 20% pardo amarillento (10YR5/6) y 10% pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva lenta y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-6

Fecha: 25-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-6

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 7-12 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Lento

Externo: Lento

Natural: Moderado

Inundación: Frecuencia: No se encontró
Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: Permanente
Profundidad: 45 cm
Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profundo
Limitada por: Nivel freático
Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.
Uso Actual: Conservación
Limitantes de uso:

0 – 53cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), tixotropía, estructura de bloques subangulares, finos, débiles, consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida y fuerte al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
NF	

Perfil N°: T1-

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-7

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 7-12 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Profunda

Limitada por: Gravilla

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 78cm A	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, moderado, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
78-104cm AB	Color en húmedo pardo claro (10YR6/3), con manchas del 20% de negro (2.5Y2.5/1), con presencia de un 20% de gravilla angular de color amarillo oliva (2.5Y6/8), textura franco arcillosa, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N^o: T1-8

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-8

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12-25 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profunda

Limitada por: Contacto lítico

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 43cm A	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
43-57 cm AB	Color en húmedo pardo amarillento (10YR5/8), con manchas en un 20% negras (10YR2/1) y un 30% pardo amarillentas (10YR5/4), con 10% de fragmentos de roca, textura franco arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
R	

Perfil N°: T1-9

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-9

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 7-12 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: Hídrica laminar y eólica

Tipo: Ligera

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Superficial

Limitada por: Contacto paralítico

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 38cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
38-50 cm AC	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), con manchas gris pardo claro (2.5Y6/2) en un 5% y 5% con manchas amarillo oliva (2.5Y6/8), con presencia de gravilla y fragmentos de roca angular, medianos y grandes en un 60%, textura franco arcillosa, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-10

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-10

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 3-7 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profunda

Limitada por: Contacto paralítico

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 36cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
38-54 cm AC	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), con manchas pardo fuerte (7.5YR5/8) en un 5%, con presencia de gravilla angular, medianos en un 40%, textura arcillosa, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

Perfil N°: T1-11

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-11

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 3-7%

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profunda

Limitada por: Contacto paralítico

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 85cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, moderado, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida y fuerte al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
85-Xcm AC	Color en húmedo pardo amarillo claro (2.5Y6/4), con manchas amarillo oliva (2.5Y6/8) en un 30% y 10% con manchas grises (2.5Y5/1), textura arcillosa, consistencia en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T1-12

Fecha: 26-ene-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-12

Municipio: Tausa

Altitud: 3600 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa

Forma del Terreno: Planicie

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 0-3 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isomésico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar y eólica**

Tipo: **Ligera**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien Drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.

Uso Actual: Conservación

Limitantes de uso:

0 – 46cm A	Color en húmedo negro (2.5Y2.5/1), textura franco limoso, estructura de bloques subangulares, medianos y gruesos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
46 – 53cm 2A	Color en húmedo pardo amarillo claro (2.5Y6/4), con manchas negras (2.5Y2.5/1) en un 30%, textura limosa, consistencia en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
53 – 85cm 2AB	Color en húmedo pardo amarillo oscuro (10YR4/4), con manchas pardo amarillas (10YR5/6) en un 20% y un 10% de manchas negras (10YR2/1), textura franco arcillosa, consistencia en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
85 – 116cm 2B	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), con manchas pardo amarillas (10YR5/8) en un 5%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
116 – X	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR4/2), con manchas pardo amarillas (10YR5/8) en un 20% y un 10% de manchas negras (10YR2/1), textura arcillosa, con presencia de 5% de gravilla, consistencia en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

Perfil N°: T2-1

Fecha: 6-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-1

Municipio: Tausa

Altitud: 3502 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 -50 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluviolacustre

Forma del Terreno: Plano

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto Andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 25 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), con gravilla angular pequeña en un 10%, textura franca, estructura bloques subangulares que rompen a granular, finos, moderadamente desarrollados,, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
25-85 cm A1	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1) con manchas gris claras (10YR7/2) en un 10% y un 5% de manchas amarillas(10YR7/8), con gravilla angular mediana y pequeña en un 40%, textura franca, estructura bloques subangulares que rompen a granular, finos a medianos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.

Perfil N°: T2-2

Fecha: 6-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-2

Municipio: Tausa

Altitud: 3486 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluvio lacustre

Forma del Terreno: Cóncavo

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 - 25 %
Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo
Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico Régim. Humedad: Údico
Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente Profunda
 Limitada por:
Vegetación Natural: Bosque alto Andino.
Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.
 Limitantes de uso:

0 – 38 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franca, estructura masiva, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
38-90 cm A1	Color en húmedo negro (10YR2/1) con manchas pardo gris oscuro (10YR4/2) en un 5%, con gravilla angular mediana en un 20%, textura franca, estructura bloques subangulares, finos a medianos, bien desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

Perfil N°: T2-3

Fecha: 6-feb-14
 Descrita por:
Localización: Sitio T2-3
Municipio: Tausa
Altitud: 3467 m.s.n.m.
Paisaje: Montaña

Coordenadas:
Departamento: Cundinamarca
Tipo de Relieve: Terraza fluviolacustre
Forma del Terreno: Plano

Material Parental: Cenizas Volcánicas
Pendiente: Gradiente: 12 - 25 %
Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo
Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico Régim. Humedad: Údico
Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profunda
 Limitada por:
Vegetación Natural: Bosque alto Andino.
Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.
 Limitantes de uso:

0 – 45 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franca, estructura masiva, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
45-105 cm A1	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), con gravilla angular grande en un 10%, textura franco arcillosa, estructura bloques subangulares, finos a medianos, fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción positiva y lenta al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
105-120 cm AB	Color en húmedo pardo (10YR4/4) con manchas amarillas (10YR7/8) en un 20%, 10% de manchas grises muy oscuras (10YR3/1) y manchas pardas muy pálidas (10YR8/2) en un 5%, con gravilla angular pequeña en un 5%, textura arcillosa, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
120-140 cm Bwg1	Color en húmedo gris claro (10YR7/1) con manchas amarillo pardoso (10YR6/8) en un 20%, textura arcillosa, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.

140-170X cm Bwg2	Color en húmedo negro rojizo (2.5YR2.5/2) con manchas gris claras (10YR7/1) en un 5%, textura franco arcillosa, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
---------------------	---

Perfil N°: T2-4

Fecha: 6-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-4

Municipio: Tausa

Altitud: 3450 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluviolacustre

Forma del Terreno: Plano

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 - 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto Andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 23 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), con gravilla redondeada y pequeña en un 5% de color pardo amarillento (10YR5/8), textura franco arcillosa, estructura masivo, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
-----------------	---

23-82 cm A1	Color en húmedo negro (10YR2/1) con manchas pardo grisáceas oscuras (10YR4/2) en un 15%, con gravilla redondeada y pequeña en un 5% de color pardo amarillento (10YR5/8), textura franco arcillosa, estructura bloques subangulares, finos a medianos, moderadamente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
82-129 cm Bw	Color en húmedo pardo (10YR4/3) con manchas negras (10YR2/1) en un 10%, textura arcillosa, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
129-170X cm Bwg	Color en húmedo pardo (10YR4/2) con manchas grises (10YR5/1) en un 20%, manchas pardo grisáceas muy oscuras (10YR3/2) en un 10% y un 10% de manchas amarillas (10YR8/8), con gravilla redondeada y pequeña de color pardo amarillenta (10YR5/8), textura arcillosa, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N°: T2-5

Fecha: 6-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-5

Municipio: Tausa

Altitud: 3437 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluvio lacustre

Forma del Terreno: Plano

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 - 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto Andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

0 – 32 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura bloques subangulares, finos a medianos, débilmente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
32-97 cm A1	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura bloques subangulares, finos a medianos, débilmente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
97-115 cm Bw1	Color en húmedo pardo (10YR4/3) con manchas negras (10YR2/1) en un 5% y 5% de manchas amarillas (10YR7/8), textura arcillosa, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
115-130 cm Bw2	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR4/4) con manchas pardas muy pálidas (10YR7/4) en un 10%, 10% de manchas pardo amarillas (10YR5/4) y manchas pardo grisáceas muy oscuras (10YR3/2), textura arcillosa, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
130-170X cm Bw3	Color en húmedo pardo amarillento (10YR5/8) con manchas amarillas (10YR7/8) en un 20% y 10% de manchas pardas muy pálidas (10YR7/3), textura arcillosa, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

Perfil N°: T2-6

Fecha: 6-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-6

Municipio: Tausa

Altitud: 3411 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluvioacustre

Forma del Terreno: Cóncavo convexo

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 - 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 25 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franca, estructura masivo, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
25-85 cm A1	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) con manchas del 10% de pardo amarillento oscuro (10YR4/4), textura franco arcillosa, estructura masivo, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción positiva al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
85-125 cm Bw	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR4/4) con manchas negras (10YR2/1) en un 20%, textura franco arcillosa, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

125-170X cm	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2) con manchas del 5% pardo amarillentas, textura arcillosa, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
-------------	---

Perfil N°: T2-7

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-7

Municipio: Tausa

Altitud: 3404 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 - 50 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Pastura.

Uso Actual: Ganadería intensiva

Limitantes de uso:

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Terraza fluvio lacustre

Forma del Terreno: Cóncavo convexo

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligeras

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 32 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franca, estructura de bloques subangulares, finos a medianos, débilmente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción
-----------------	---

	moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
32-93 cm A1	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, débilmente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
93-170X cm Bw	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR3/1), con gravilla en un 5% de formas redondeadas y pequeñas, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T2-9

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-9

Municipio: Tausa

Altitud: 3454 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Glacis de acumulación-Valle aluvial

Forma del Terreno: Drenaje de tierras medias

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 - 50 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Profunda

Limitada por:

Vegetación Natural: Pastura.

Uso Actual: Ganadería intensiva

Limitantes de uso:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 44 cm Ap	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), con fragmentos de roca y gravilla angulares en un 40% de color amarillo pardoso (10YR6/8), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, moderadamente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.v
44-80 cm A1	Color en húmedo pardo amarillento muy oscuro (10YR3/4) con un 30% de manchas pardo grisáceas muy oscuras (10YR3/2), con gravilla en un 5% de forma angular de color amarillo pardoso (10YR6/8), textura arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
80-102 cm Bw	Color en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR4/4) con machas amarillo pardoso (10YR6/8) en un 20% y un 10% de manchas pardo amarillentas (10YR5/8), con fragmentos de roca y gravilla en un 40% de formas angulares y pequeños, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
102-126 cm Bwg	Color en húmedo gris claro (10YR7/1) con manchas amarillas (10YR7/8) en un 30%, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

Perfil N^o: T2-10

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-10

Municipio: Tausa

Altitud: 3508 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Glacis de acumulación-Valle aluvial

Forma del Terreno: Drenaje de tierras medias

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 - 50 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Superficial
 Limitada por:
Vegetación Natural: Pastura.
Uso Actual: Ganadería Intensiva
 Limitantes de uso:

0 – 16 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), con fragmentos de roca y gravilla angulares en un 50%, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, moderadamente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
16-40 cm AC	Color en húmedo negro (10YR2/1), con fragmentos de roca y gravilla angulares en un 70%, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, moderadamente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T2-11

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-11

Municipio: Tausa

Altitud: 3528 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Ladera (Flanco recto)

Forma del Terreno: Plano inclinado,
Pendiente abierta

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 - 50 %
Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo
Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico Régim. Humedad: Údico
Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Superficial
 Limitada por:
Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.
Uso Actual: Conservación
 Limitantes de uso:

0 – 28 cm A1	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, moderadamente desarrollados, consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajoso y muy plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
28-40 cm AC	Color en húmedo negro (10YR2/1), con fragmentos de roca angulares y medianos en un 80%, textura arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N^o: T2-12

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T2-12

Municipio: Tausa

Altitud: 3536 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Ladera (Flanco recto)

Forma del Terreno: Plano inclinado,
Pendiente abierta

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 25 - 50 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo
Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico Régim. Humedad: Údico
Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Superficial
 Limitada por:
Vegetación Natural: Pajonales, Frailejones y arbustos de porte medio.
Uso Actual: Conservación
 Limitantes de uso:

0 – 32 cm A1	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos, débilmente desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva ligera Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
32- 42 cm AC	Color en húmedo negro (10YR3/1), con fragmentos de roca angulares y medianos en un 70%, textura franco arcillosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N^o: T 3-1

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-1

Municipio: Tausa

Altitud: 3428 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluvioacustre

Forma del Terreno: Flanco

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y muy húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo
 Limitada por:
Vegetación Natural: Bosque alto andino.
Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.
 Limitantes de uso:

0 – 25 cm Ap	Color en húmedo negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura granular, consistencia en húmedo friable, en mojado plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
25- 103 cm A	Color en húmedo café muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares que rompen a granular, finos a medios, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
103- 140 cm Bw1	Color en húmedo café oscuro (10YR3/3) con manchas negras (10YR2/1) en un 10%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
140 - 170x cm Bw2	Color en húmedo café muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, consistencia en mojado muy plástica y muy pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N°: T 3-2

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-2

Municipio: Tausa

Altitud: 3417 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluviolacustre

Forma del Terreno: Flanco

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Tipo: Ligera

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Moderadamente profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

0 – 15 cm Ap	Color en húmedo pardo amarillento muy oscuro (10YR3/4), textura franco, estructura masiva, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
15- 57 cm A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, fuertemente desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado

	plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y media al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
57-76 cm Bw	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, con 5% de fragmentos pequeños de gravilla, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente plástica y ligeramente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N°: T 3-3

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-3

Municipio: Tausa

Altitud: 3404 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluviolacustre

Forma del Terreno: Flanco

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Exdáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Tipo: Ligera

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Superficial

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

0 – 26 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco, estructura granular, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
26 – 38x cm AC	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1) con un 60% de fragmentos de gravilla angular, textura franco, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y media al Peróxido de hidrógeno, pH 5.

Perfil N°: T 3-4

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-4

Municipio: Tausa

Altitud: 3393 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluvioacustre

Forma del Terreno: Flanco

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Extremadamente Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Tipo: Ligera

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

0 – 25 cm Ap	Color en húmedo pardo amarillento muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco, estructura granular, finos, moderadamente desarrollada, consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
25- 45 cm A1	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco, estructura de bloques subangulares, finos a medios, fuertemente desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente plástica y ligeramente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
45-100 cm Bwg1	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, fuertemente desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción moderada positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
100-147 cm Bw	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, consistencia en mojado moderadamente plástica y moderadamente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
147-170x cm Bwg2	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), textura arcillosa, consistencia en mojado moderadamente plástica y moderadamente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N°: T 3-5

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-5

Municipio: Tausa

Altitud: 3380 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluvioacustre

Forma del Terreno: Flanco

Régim. Humedad: Údico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar** Tipo: Ligera
Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
 Superficie cubierta en %:
Pedregosidad Superficial: Tipo:
 Clase: % superficie cubierta:
Drenajes: Interno: Moderado Externo: Rápido
 Natural: Bien drenado
Inundación: Frecuencia: No se encontró
 Duración:
Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró
 Profundidad:
Profundidad Efectiva: Clase: Profundo
 Limitada por:
Vegetación Natural: Bosque alto andino.
Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.
 Limitantes de uso:

0–34 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), textura franco arcillosa, estructura bloques subangulares que rompe a granular, finos, bien desarrollada, consistencia en húmedo friable, en mojado plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
34–103 cm A1	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), con fragmentos de gravilla mediana angular de color amarillo pardoso (10YR6/8) en un 40% y pequeña angular de color gris claro (10YR7/2) en un 20%, franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, medios, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y ligeramente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5

Perfil N°: T 3-6

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-6

Municipio: Tausa

Altitud: 3363 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy Profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Cultivos transitorios, papa.

Limitantes de uso:

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Colina fluviolacustre

Forma del Terreno: Flanco

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 28 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2) con un 2% de gravilla de color pardo amarillentas (10YR5/8), textura franco arcillosa, estructura blocosa subangular que rompe a granular, fina, moderadamente desarrollada, consistencia en húmedo friable, en mojado plástica y ligeramente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
28- 99 cm A1	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, moderadamente desarrollada, consistencia en húmedo friable, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido

	Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
99-136 cm Bwg	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), textura arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 6.
136 – 170x cm	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2) en un 90% y pardo muy oscuro a negro (10YR2/1) en un 10%, textura arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 6.

Perfil N°: T 3-7

Fecha: 7-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-7

Municipio: Tausa

Altitud: 3350 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciaria

Forma del Terreno: Flanco lacustre concavo

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 38 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), con un 5% de manchas de pardo amarillentas (10YR5/8), 5% de color amarillo parduzcas (10YR6/6) y 15% de fragmentos pequeños de roca, textura franco arcillosa, estructura blocosa subangular que rompe a granular, fina a media, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
38- 63 cm Bw	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción positiva y moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5
63 - 170x cm 2A	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1) y con un 20% de manchas de gris muy oscuro (10YR3/1), textura arcillosa, consistencia en muy plástica y muy pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción positiva y ligera al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5

Perfil N°: T 3-8

Fecha: 16-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T1-1

Municipio: Tausa

Altitud: 3404 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay
Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciárica

Forma del Terreno: Flanco lacustre

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profunfo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

0 – 40 cm Ap	Color en húmedo negro (7,5YR 2,5/1), con un 15% de manchas de amarillas (10YR7/8), textura franco arcillosa, estructura blocosa subangular, fina a grande, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5
40- 56 cm Bw1	Color en húmedo pardo muy oscuro a negro (10YR2/1), con un 15% de manchas de color pardo fuerte (7.5YR4/6) y 15% de gravilla de color rojo claro (2,5YR6/6), textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollada, consistencia en húmedo firme, en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y fuerte al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida Peróxido de hidrógeno, pH 5
56-93 cm Bw2	Color en húmedo pardo fuerte (7.5YR5/8), con un 35% de manchas de color pardo oscuro (7.5YR3/3), 5% de manchas de color gris claro (7.5YR7/1) y 10% de gravilla de color rojo claro (2,5YR6/6), textura franco arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y ligera al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5
93 - 170x cm	Color en húmedo rojo oscuro (2.5YR3/2), con un 20% de manchas de color gris (7.5YR6/1) y 10% de manchas de color pardo fuerte (7.5YR5/8), textura arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y ligera al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4

Perfil N°: T 3-9

Fecha: 8-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-9

Municipio: Tausa

Altitud: 3353 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciárica

Forma del Terreno: Flanco lacustre

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligerera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 18 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franca, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
18- 30 cm A	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), textura franca, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien

	desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
30-96 cm Bw1	Color en húmedo pardo oscuro (10YR3/3) con manchas pardo fuertes (7.5YR5/8) en un 5% y un 5% manchas amarillas (10YR8/8), con gravilla angular en un 15%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado muy plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva al Fluoruro de sodio, reacción positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
98-122 cm Bw2	Color en húmedo pardo amarillo oscuro (10YR4/4) con manchas pardo amarillento (10YR5/8) en un 20% y un 5% manchas gris claro (10YR7/2), con gravilla angular y fragmentos de roca en un 20%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado muy plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.
122 – 170X cm	Color en húmedo rojo tenue (2.5YR4/2) con manchas grises rojizas claras (10YR7/1) en un 20% y un 5% manchas rojas (10YR5/8), textura arcillosa, consistencia en mojado muy plástico y muy pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, negativa al Fluoruro de sodio, reacción negativa al Peróxido de hidrógeno, pH 4.

Perfil N°: T 3-10

Fecha: 8-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-10

Municipio: Tausa

Altitud: 3371 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciárica

Forma del Terreno: Flanco lacustre

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

% superficie cubierta:

Drenajes: Interno: Moderado

Externo: Rápido

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.**Uso Actual:** Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

0 – 31 cm Ap	Color en húmedo negro (7.5YR2.5/1) con manchas pardas fuertes (7.5YR5/8) en un 15%, con gravilla angular en un 15% parda fuerte (7.5YR5/8), textura franca, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
31- 84 cm A1	Color en húmedo negro (7.5YR2.5/1) con manchas pardo oscuras (7.5YR3/3) en un 15%, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción positiva y moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
84-98 cm Bw1	Color en húmedo pardo fuerte (7.5YR2.5/6) con manchas amarillo rojizo (7.5YR3/3) en un 5% y un 25% manchas negras (7.5YR2.5/1), textura arcillosa, consistencia en mojado muy plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y moderada al Fluoruro de sodio, reacción positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.
98-123 cm Bw2	Color en húmedo pardo (7.5YR4/3) con manchas pardo fuertes (7.5YR5/8) en un 5% y un 15% manchas negras (7.5YR2.5/1), textura arcillosa, consistencia en mojado muy plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 4.

Perfil N^o: T 3-11

Fecha: 8-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-11

Municipio: Tausa

Altitud: 3386 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciárica

Forma del Terreno: Plano lacustre

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 28 cm Ap	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franca, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
28- 112 cm A1	Color en húmedo negro (10YR2/1), con gravilla redondeada pequeña en un 5%, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a grandes, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida Fluoruro de sodio, reacción positiva y moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
112-155 cm	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) con

Bg	manchas negras (10YR2/1) en un 10%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida al Fluoruro de sodio, reacción moderada positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.
155-170X cm Bw	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2) con manchas negras (10YR2/1) en un 20%, textura arcillosa, consistencia en mojado muy plástica y muy pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y lenta al Fluoruro de sodio, reacción moderada positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5.

Perfil N°: T 3-12

Fecha: 8-feb-14

Descrita por:

Localización: Sitio T3-12

Municipio: Tausa

Altitud: 3400 m.s.n.m.

Paisaje: Montaña

Material Parental: Cenizas Volcánicas

Pendiente: Gradiente: 12 – 25 %

Clima Ambiental: Muy Frio y húmedo

Clima Edáfico: Régim. Temp.: Isotérmico

Erosión: Clase: **Hídrica laminar**

Afloramientos Rocosos: Clase: No hay

Superficie cubierta en %:

Pedregosidad Superficial: Tipo:

Clase:

Drenajes: Interno: Moderado

Natural: Bien drenado

Inundación: Frecuencia: No se encontró

Duración:

Nivel Freático: Naturaleza: No se encontró

Profundidad:

Profundidad Efectiva: Clase: Muy profundo

Limitada por:

Vegetación Natural: Bosque alto andino.

Uso Actual: Ganadería intensiva.

Limitantes de uso:

Coordenadas:

Departamento: Cundinamarca

Tipo de Relieve: Artesa glaciárica

Forma del Terreno: Plano lacustre

Régim. Humedad: Údico

Tipo: Ligera

% superficie cubierta:

Externo: Rápido

0 – 27 cm	Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1), con gravilla angular y redondeada pequeña en un 40%, textura franco arcillosa, estructura
-----------	--

Ap	de bloques subangulares que rompen a granular, finos, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida Fluoruro de sodio, reacción positiva y rápida al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
27- 83 cm A	Color en húmedo negro (10YR2/1), con gravilla angular y redondeada pequeña y blanda en un 70%, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares, finos a medios, bien desarrollados, consistencia en húmedo firme, en mojado plástico y ligeramente pegajoso, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y rápida Fluoruro de sodio, reacción positiva y moderada al Peróxido de hidrógeno, pH 5.5
83-136 cm Bw	Color en húmedo pardo (10YR4/3) con manchas negras (10YR2/1) en un 15% y presencia de cascajo de forma angular pequeño en un 60%, textura franco arcillosa, consistencia en mojado plástica y pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y moderada al Fluoruro de sodio, reacción moderada positiva y lenta al Peróxido de hidrógeno, pH 5.
136-170X cm	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) con manchas gris oscuras (10YR4/1) en un 30%, y moteados pardo amarillentos (10YR5/8) en un 5% y blancos (10YR8/1) en un 5%, textura arcillosa, consistencia en mojado moderadamente plástica y moderadamente pegajosa, reacción negativa al Ácido Clorhídrico, positiva y moderada al Fluoruro de sodio, reacción ligeramente positiva al Peróxido de hidrógeno, pH 4.5.

5.2 Anexo 2: Protocolo de Medición de flujo de CO₂



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA DE POSGRADO

Protocolo de muestreo de Respiración de Suelos con Analizador Infrarrojo EGM-4 y cámara portátil y cerrada SRC-1



En el marco del proyecto:

“Calidad y sostenibilidad del agua y los suelos en páramos andinos: Agua potable para millones de habitantes en Latinoamérica”.



THE UNIVERSITY
of NORTH CAROLINA
at CHAPEL HILL

Diego Camilo Peña Quemba
Estudiante Maestría Ciencias Agrarias – Suelos y Aguas
2014

Introducción

El stock de carbono (C) en el suelo es cuatro veces mayor que el stock de C biótico terrestre. Aproximadamente 2344 Gt de C orgánico es almacenado en los primeros tres metros del suelo, de este el 54% del C orgánico es almacenado en el primer metro de suelo y cerca de 28% es almacenado en los primeros 20 cm de profundidad del suelo (Stockmann *et al.*, 2013). El intercambio de C desde el suelo hacia la atmósfera se realiza por medio del proceso físico de difusión y flujo de masa de dióxido de carbono (CO₂) a través de la superficie terrestre (Campos, 2006). Este proceso se conoce como respiración del suelo (Rs) (Fiener *et al.*, 2012; Oyonarte *et al.*, 2012; Pacific *et al.*, 2008; Riveros-Iregui *et al.*, 2008).

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero resultante de las actividades humanas y el segundo en importancia en el calentamiento global (Hetherington y Raven, 2005; Tapia *et al.*, 2012). El aumento del 30% de la concentración de CO₂ atmosférico desde la era preindustrial (280 ppm), hasta alcanzar registros de 394 ppm para el año 2012 (Tapia *et al.*, 2012). Este aumento es el resultado directo de las actividades humanas (Schrumpf *et al.*, 2011) y principalmente la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento, y modificar los patrones de uso del suelo (IPCC, 1995; Hetherington y Raven, 2005).

Diferentes métodos han sido desarrollados para la medición de este flujo. Algunos de estos métodos pueden afectar la medición por disturbar la biogeoquímica de los procesos envueltos en la producción de CO₂, las propiedades físicas, o por cambios en las condiciones ambientales. Las mediciones de respiración de suelos en campo son una de las más difíciles mediciones entre las mediciones de flujo del ecosistema (Kutsch *et al.*, 2009). No se ha establecido un único método para este tipo de mediciones, es por este motivo que cada experimento debe elaborar un protocolo teniendo en consideración la escala temporal y espacial del estudio (Kutsch *et al.*, 2009), con el fin de comparar resultados de diferentes investigaciones.

Las cámaras portátiles son caracterizadas por la recirculación de aire al interior de la cámara y existen dos tipos de cámaras portátiles: Cámaras cerradas, que tienen una comunicación continua entre la cámara y el analizador externo de gases (Janssens *et al.*, 2000) y el flujo de CO₂ es determinado por el incremento en la concentración dentro de la cámara en un periodo de tiempo conocido; Las cámaras abiertas son sistemas abiertos donde el aire pasa a través de la cámara y el flujo de CO₂ es medido al momento de entrada y salida del sistema.

El EGM-4 es un analizador portable de CO₂ de alta precisión con cámara de respiración cerrada SRC-1, que cuenta con una batería interna recargable de 12 V, 2.0 Ah, que provee más de 8 horas de uso continuo del equipo, para realizar mediciones durante una jornada de trabajo sin reemplazar la batería.

Objetivo

Establecer una metodología estándar para la medición de la respiración del suelo con cámara portátil EGM-4 y la cámara de respiración de suelo SRC-1 de sistema cerrado.

Recomendaciones previas

- Es importante que antes de realizar cualquier tipo de operación con el EGM-4, tome tiempo para revisar el manual de operaciones oficial del fabricante (PP Systems).
- Este equipo es enviado con calibración de fábrica, no es necesaria la previa calibración.
- Todas las preguntas relacionadas con calibración deben ser dirigidas directamente a la empresa fabricante *PP System*: support@ppsystems.com

Especificaciones técnicas

Analizador infrarrojo EGM-4:

- **Método de análisis:** Infrarrojo no dispersivo con control de microprocesador y linealización.
- **Rango de medición:** 0-2,000 ppm ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
- **Estabilidad:** "Auto zero" en intervalos regulares que corrigen contaminación durante el muestreo.

Cámara de respiración de suelo SRC-1

- **Volumen del sistema:** 1171 ml
- **Área expuesta:** 78 cm³

Instalación de parcelas de muestreo

Después de realizar el proceso de selección de puntos en oficina con base en la información recolectada de la zona de estudio y de verificar la ubicación de los puntos en campo, se procede a la instalación de las parcelas de muestreo.

1. Se delimita un área de muestro de aproximadamente 50X50 cm (Imagen 1) que durante el tiempo de muestreo, no puede ser alterada o intervenida (paso de animales o personas), por este motivo se recomienda cercar las parcelas de muestreo con cintas o cuerdas llamativas o de colores para que los habitantes de la zona las identifiquen (Imagen 2). El material de las estacas utilizadas para

demarcar el área puede variar dependiendo del periodo de muestreo programado, mayor o menor duración.



Imagen 1 y 2. Instalación de parcelas de muestreo y demarcación de las parcelas

2. Posterior a la instalación de las parcelas de muestreo y antes de realizar la primera medición, en los lugares con vegetación abundante es necesario realizar podas periódicas para que la vegetación no interfiera en la medición, debido a que la cámara de respiración tiene que estar en contacto directo con el suelo durante el tiempo del muestreo (Imagen 3).

Manejo del equipo de respiración de suelo EGM-4 y cámara SRC-1

3. Una vez las parcelas de muestreo se encuentran seleccionadas, demarcadas y podadas en los casos necesarios, se realiza la conexión de la cámara de respiración con el analizador infrarrojo. La conexión consta de una manguera de entrada (*gas in*) y una de salida (*gas out*) de 1/8" de diámetro interno que transporta el aire desde la cámara hasta el analizador infrarrojo y un cable de conexión I/O que conecta el analizador infrarrojo con los sensores diferentes sensores, para nuestro caso la cámara de respiración SRC-1 (Imagen 4).



Imagen 3. Podas periódicas en parcelas de muestreo demarcadas cubiertas por pasto

4. En la parte posterior del equipo se encuentra ubicado el interruptor de encendido del equipo *Power ON/OFF*, es necesario considerar si el equipo cuenta con una batería de 12V NiMH, si es así, esta batería tiene otro interruptor que debe ser manipulado en dirección a *Charge* al momento de conectar el equipo para ser cargada la batería o en *Run* al momento de utilizar el equipo para realizar mediciones (Imagen 5).

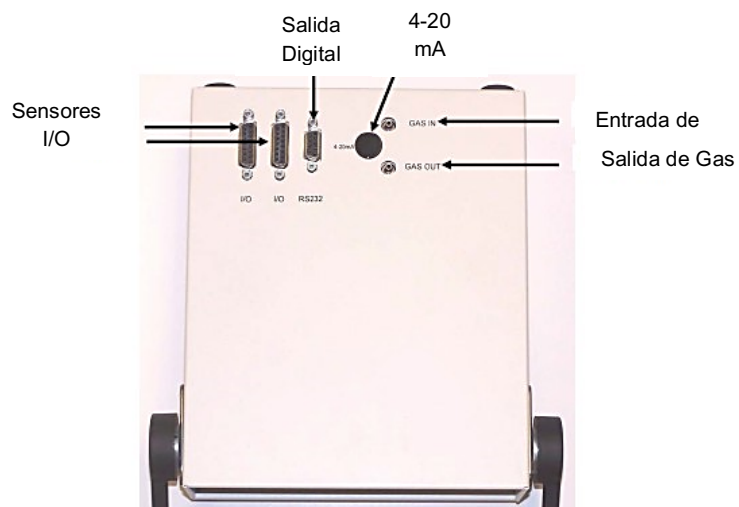


Imagen 4. Vista desde arriba de los conectores del analizador infrarrojo EGM-4



Imagen 5. Vista desde atrás de los interruptores del analizador infrarrojo EGM-4



Imagen 6. Vista de frente del panel de control del analizador infrarrojo EGM-4

5. Cada vez que el equipo se enciende es necesario esperar a que éste se caliente, esto tomará aproximadamente 10 minutos al termino aparecerá un aviso similar al siguiente en la panel del equipo:

WARM UP DELAY
TEMPERATURE = 49

Desde 0 hasta 54 °C

6. Después de que el equipo esté caliente está listo para empezar las mediciones, un aviso similar aparecerá en el panel del equipo:

1REC 2SET 3CAL
4DMP 5CLR 6CLK

Opción 1: Directamente al modo de medición

Opción 2: Cambiar configuraciones del sistema (Tipo de *Auto zero* e intervalo de tiempo, tipo de grabacion de datos, entre otros, para mayor información remitase al manual del usuario de PP Systems)

Opción 3: Opción para calibrar el Analizador (para mayor información remitase al manual del usuario de PP Systems)

Opción 4: *Dump stored*, esta opción se utiliza para descargar los datos directamente al computador

Opción 5: Limpiar la memoria del sistema (Solo limpia los datos almacenados)

Opción 6: Configurar fecha y hora del Analizador.

7. Se selecciona la opción 1 para continuar con la medición, y posteriormente se va a observar algunos parámetros de configuración para realizar la medición:

```
SOIL RESP.DATA
RECORD 1ALL 2END
```

Aquí es posible escoger si se quiere que el equipo guarde en la memoria los datos de medición desde el primer dato medido o solo guardar el último dato obtenido después de los 120 segundos (por defecto). La opción 1 es generalmente usada cuando se desea obtener la tasa de asimilación (respiración/fotosíntesis) al graficar la tasa de cambio de la concentración de CO₂ en la cámara. Si el interés de la investigación es solo obtener mediciones de respiración de suelo, la opción 2 es la adecuada, aunque es recomendable en la libreta de apuntes llevar el registro de todas las mediciones.

8. Se debe seleccionar una curva de ajuste entre Linear o Cuadrática, se recomienda la opción Cuadrática (QUAD.).

```
DATA FITTING
1LINEAR  2 QUAD.?
```

9. Posteriormente se van a observar los valores por defecto de la cámara de respiración SRC-1:

```
1V: 1171    2A: 78
3V/A*100    1491
```

1V: Volumen del sistema (ml)

2A: Área expuestas (cm³)

3V/A*100: Volumen/Área (automático)

10. Para avanzar a través del panel anterior se oprime la letra **Y** en las teclas del panel principal y continuamos con otra pantalla de información y configuración:

1DT:120 2DC:50
3 APPROX. TEMP. 25

1DT: Tiempo para que el cambio de la concentración de CO₂ en la cámara es monitoreado (segundos). Los valores deben estar entre 30 – 999 segundos.

2DC: El cambio máximo permitido en la concentración de CO₂ desde el tiempo cero en cuyo punto se hace la medición final (ppm).

3 Aprox. Temp: Temperatura aproximada del aire.

Se continúa el proceso con la tecla **Y**.

11. A continuación la pantalla de configuración del número de parcela (Plot):

PLOT NO = 01
Y OR NEW VALUE

El número de Plot máximo es 99. Los números de un dígito es necesario que vayan acompañados con un cero (0) a la izquierda (por ejemplo 02, 05, 07), los números de dos dígitos se marcan de forma directa. Si marcó de forma errónea el número de Plot, simplemente marque nuevamente sin necesidad de borrar el anterior.

Se continúa el proceso con la tecla **Y**, después de haber marcado el número de Plot.

12. En el siguiente paso la cámara SRC-1 debe ser sostenida en el aire durante aproximadamente 15 segundos:

CHAMBER FLUSHING
HOLD IN AIR

13. Luego de terminar el paso anterior se ubica la cámara SRC-1 en el suelo haciendo presión de forma leve, garantizando que no queden espacios de escape del aire al interior de la cámara.

PLACE ON SOIL
PRESS Y TO START

Se continúa el proceso con la tecla **Y** en el panel principal para empezar la medición del flujo de CO₂. Estas mediciones se deben realizar 3 veces en cada una de las parcelas seleccionadas y deben ser realizadas en sitios distintos dentro de la misma parcela para garantizar aleatoriedad en las mediciones.

EQUILIBRATION
PLEASE WAIT

Después de aproximadamente 5 segundos de equilibrio del equipo, empieza la medición y después de 120 segundos los resultados se observan en la siguiente pantalla:

C 395
A02.11 Q0000
110

C: Medición de la concentración de CO₂ (ppm)
A: Tasa de intercambio de CO₂ (g (CO₂) m² Hora)
Q: Radiación fotosintéticamente activa (PAR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
110: El tiempo transcurrido de la medición (segundos), al finalizar la medición las letras **END** aparecerán como tiempo transcurrido.

14. Para guardar los datos es necesario oprimir **Y** en la pantalla anterior y aparecerá la siguiente pantalla:

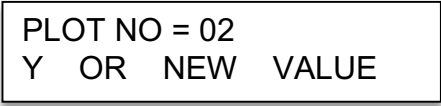
RECORD Y/N

Los datos serán guardados con el número de Plot utilizado en el punto 11, con la letra **Y**. Si no quiere guardar los datos por algún error en la medición, presione **N**.

15. Como último paso aparecerá la siguiente pantalla:

REMOVE FROM SOIL
THEN PRESS Y KEY

Usted deberá retirar la cámara SRC-1 del suelo y presionar la tecla **Y** justo después de hacerlo, el equipo volverá a mostrar la pantalla de selección del Plot del paso 11:



PLOT NO = 02
Y OR NEW VALUE

Usted puede continuar las mediciones de la totalidad de las parcelas continuando los pasos a partir del paso 11. Si usted no desea continuar las mediciones o ya terminó la medición de las parcelas puede oprimir la tecla **8/X** dos veces para volver a la pantalla principal y proceder a apagar el equipo en el interruptor ubicado en la parte trasera del equipo (Imagen 5) y desconectar las mangueras y el cable de conexión de sensores (Imagen 4).

Recomendaciones

- Antes de empezar con las mediciones en campo, es necesario estar seguro del nivel de carga de la batería del analizador infrarrojo. Es recomendable cargar el analizador infrarrojo la noche anterior al día de medición, para evitar interrumpir el día de muestreo por falta de batería en el equipo.
- La protección del equipo es un punto muy importante para garantizar el desarrollo exitoso del trabajo de campo, es recomendable una sombrilla o un protector de lluvia tanto para el analizador infrarrojo como para la cámara de respiración.
- Las mediciones deben ir complementadas con igual número de mediciones (3) de temperatura y humedad del suelo en cada una de las parcelas.

Bibliografía protocolo de medición.

- Campos, A. C. (2006). Response of soil surface CO₂-C flux to land use changes in a tropical cloud forest (Mexico). *Forest Ecology and Management* **234**, 305-312.
- Fiener, P., Dlugoš, V., Korres, W., and Schneider, K. (2012). Spatial variability of soil respiration in a small agricultural watershed — Are patterns of soil redistribution important? *CATENA* 94, 3-16.
- Hetherington, A.M., J.A., Raven. 2005. The biology of carbon dioxide. *Curr. Biol.*, 15. R406–R410 pp.
- IPCC, Cambio Climático 1995: La ciencia del cambio climático, 1996. En: Houghton, JT, Meira Filho, LG, Callander, BA, Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 572.

- Janssens, I.A., A.S. Kowalski, B. Longdoz & R. Ceulemans, 2000. Assessing forest soil CO₂ efflux: an in situ comparison of four techniques. *Tree Physiology* 20: 23-32.
- Kutsch, W., Bahn, M., Heinemeyer, A. (Eds.). (2009). *Soil Carbon Dynamics - an Integrated Methodology*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Oyonarte, C., Rey, A., Raimundo, J., Miralles, I., and Escribano, P. (2012). The use of soil respiration as an ecological indicator in arid ecosystems of the SE of Spain: Spatial variability and controlling factors. *Ecological Indicators* 14, 40-49.
- Pacific, V. J., McGlynn, B. L., Riveros-Iregui, D. A., Welsch, D. L., and Epstein, H. E. (2008). Variability in soil respiration across riparian-hillslope transitions. *Biogeochemistry* 91, 51-70.
- Riveros-Iregui, D. A., McGlynn, B. L., Epstein, H. E., and Welsch, D. L. (2008). Interpretation and evaluation of combined measurement techniques for soil CO₂ efflux: Discrete surface chambers and continuous soil CO₂ concentration probes. *J. Geophys. Res* 113, G04027.
- Tapia, J. A., Ionides, E. L., Carpintero, Ó. 2012. "Climate change and the world economy: short-run determinants of atmospheric CO₂." *Environmental Science & Policy* 21(0): 50-62.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A. B., de Courcelles, V. de R., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D. A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P. C., Chenu, C., Jastrow, J. D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A. G., Parton, W. J., Whitehead, D., Zimmermann, M., (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 164 (1), 80-99

6. Bibliografía

- Acosta, M., Pavelka, M., Montagnani, L., Kutsch, W., Lindroth, A., Juszczak, R., and Janouš, D. (2013). Soil surface CO₂ efflux measurements in Norway spruce forests: Comparison between four different sites across Europe — from boreal to alpine forest. *Geoderma* **192**, 295-303.
- Alzate, B. (2006). Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica. , Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Baldocchi, D., Tang, J., and Xu, L. (2006). How switches and lags in biophysical regulators affect spatial-temporal variation of soil respiration in an oak-grass savanna. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **111**, G02008.
- Balogh, J., Pintér, K., Fóti, S., Cserhalmi, D., Papp, M., and Nagy, Z. (2011). Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands. *Soil Biology and Biochemistry* **43**, 1006-1013.
- Buchmann, N. (2000). Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry* **32**, 1625-1635.
- Buyanovsky, G. A., and Wagner, G. H. (1983). Annual cycles of carbon dioxide level in soil air. *Soil Science Society of America* **47**, 1139–1144.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., and Hofstede, R. (2006a). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* **79**, 53-72.
- Buytaert, W., Deckers, J., and Wyseure, G. (2006b). Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (páramo). *Geomorphology* **73**, 207-221.
- Campos, A. C. (2006). Response of soil surface CO₂-C flux to land use changes in a tropical cloud forest (Mexico). *Forest Ecology and Management* **234**, 305-312.
- Chaplot, V., Abdalla, K., Alexis, M., Bourennane, H., Darboux, F., Dlamini, P., Everson, C., McHunu, C., Muller-Nedebock, D., Mutema, M., Quenea, K., Thenga, H., and Chivenge, P. (2015). Surface organic carbon enrichment to explain greater CO₂ emissions from short-term no-tilled soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **203**, 110-118.
- Concilio, A., MA, S. Y., Ryu, S. R., North, M., and Chen, J. Q. (2006). Soil respiration response to experimental disturbances over 3 years. *For. Ecol. Manage.* **228**, 82–90.

- Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, E. A., and Van Eerd, L. L. (2015). Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil and Tillage Research* **152**, 17-28.
- Coyne, M. (2000). "Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio," Editorial Parainfo, Madrid, España.
- 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.
- Curtis, P. S., Vogel, C. S., Gough, C. M., Schmid, H. P., Su, H. B., and Bovard, B. D. (2005). Respiratory carbon losses and the carbon-use efficiency of a northern hardwood forest, 1999–2003. *New Phytologist* **167**, 437-456.
- Davidson, E. A., Janssens, I.A., Luo, Y., (2006). On the variability of respiration in terrestrial ecosystems moving beyond Q10. . *Global Change Biol.* **12**, 154 - 164.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., and Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* **41**, 393-408.
- Dilustro, J. J., Collins, B., Duncan, L., and Crawford, C. (2005). Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management* **204**, 87-97.
- Dube, F., Zagal, E., Stolpe, N., and Espinosa, M. (2009). The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management* **257**, 1695-1704.
- Ellert, B. H., and Janzen, H. H. (1999). Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research* **50**, 21-32.
- Emran, M., Gispert, M., and Pardini, G. (2012). Comparing measurements methods of carbon dioxide fluxes in a soil sequence under land use and cover change in North Eastern Spain. *Geoderma* **170**, 176-185.
- Fiener, P., Dlugoš, V., Korres, W., and Schneider, K. (2012). Spatial variability of soil respiration in a small agricultural watershed — Are patterns of soil redistribution important? *CATENA* **94**, 3-16.
- Görres, C. M., Kutzbach, L., and Elsgaard, L. (2014). Comparative modeling of annual CO₂ flux of temperate peat soils under permanent grassland management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **186**, 64-76.
- Graf, A., Herbst, M., Weihermüller, L., Huisman, J. A., Prolingheuer, N., Bornemann, L., and Vereecken, H. (2012). Analyzing spatiotemporal variability of heterotrophic soil respiration at the field scale using orthogonal functions. *Geoderma* **181–182**, 91-101.
- IGAC (1997). Plan de ordenamiento territorial municipio de Tausa, Cundinamarca.
- IGAC (2001). "Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Cundinamarca. ," Bogotá.
- Imaz, M. J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., and Karlen, D. L. (2010). Soil quality indicator response to tillage and residue

- management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research* **107**, 17-25.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. *IPCC, Geneva, Switzerland*, 104.
- Iqbal, J., Ronggui, H., Lijun, D., Lan, L., Shan, L., Tao, C., and Leilei, R. (2008). Differences in soil CO₂ flux between different land use types in mid-subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry* **40**, 2324-2333.
- Jaramillo, D. F. (2004). "El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano.," Universidad Nacional, Medellín, Colombia.
- Johnson, R. A., and Wichern, D. W. (2007). "Applied Multivariate Correspondence Analysis," 6th edición/Ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Kabwe, L. K., Hendry, M. J., Wilson, G. W., and Lawrence, J. R. (2002). Quantifying CO₂ fluxes from soil surfaces to the atmosphere. *Journal of Hydrology* **260**, 1-14.
- Karlen, D. L., Cambardella, C. A., Kovar, J. L., and Colvin, T. S. (2013). Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil and Tillage Research* **133**, 54-64.
- Kutsch, W. L., Bahn, M., and Heinemeyer, A. (2010). "Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology," Cambridge University Press, United States of America.
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* **29**, 437-450.
- Lal, R. (2007). Farming carbon. *Soil and Tillage Research* **96**, 1-5.
- Liu, J., Jiang, P., Wang, H., Zhou, G., Wu, J., Yang, F., and Qian, X. (2011). Seasonal soil CO₂ efflux dynamics after land use change from a natural forest to Moso bamboo plantations in subtropical China. *Forest Ecology and Management* **262**, 1131-1137.
- Luo, Y., and Zhou, X. (2006). "Soil Respiration and the Environment," Elsevier, United States of America.
- Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., Rodríguez, N., Franco, C., Betancourth, J. C., Olaya, E., Posada, E., and Cárdenas, L. (2007). "Atlas de páramos de Colombia.," Ed. IAVH.
- Motavalli, P. P., Discekici, H., and Kuhn, J. (2000). The impact of land clearing and agricultural practices on soil organic C fractions and CO₂ efflux in the Northern Guam aquifer. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **79**, 17-27.
- Ngao, J., Epron, D., Delpierre, N., Bréda, N., Granier, A., and Longdoz, B. (2012). Spatial variability of soil CO₂ efflux linked to soil parameters and ecosystem characteristics in a temperate beech forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **154–155**, 136-146.
- Otero, J. D., Figueroa, A., Muñoz, F. A., and Peña, M. R. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering* **37**, 2035-2043.
- Oyonarte, C., Rey, A., Raimundo, J., Miralles, I., and Escribano, P. (2012). The use of soil respiration as an ecological indicator in arid ecosystems of the

- SE of Spain: Spatial variability and controlling factors. *Ecological Indicators* **14**, 40-49.
- Pacific, V. J., McGlynn, B. L., Riveros-Iregui, D. A., Welsch, D. L., and Epstein, H. E. (2008). Variability in soil respiration across riparian-hillslope transitions. *Biogeochemistry* **91**, 51-70.
- Poulenard, J., and Podwojewski, P. (2000). La degradación de los suelos de los páramos. En: Los Suelos del Páramo. *Serie Páramo* **5**, 27-36.
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., and Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena* **45**, 185-207.
- Riveros-Iregui, D. A., McGlynn, B., A., M. L., L., W. D., E., E. R., and E., E. H. (2011). A watershed-scale assessment of a process soil CO₂ production and efflux model. *Water Resour. Res.* **47**.
- Riveros-Iregui, D. A., McGlynn, B. L., Epstein, H. E., and Welsch, D. L. (2008). Interpretation and evaluation of combined measurement techniques for soil CO₂ efflux: Discrete surface chambers and continuous soil CO₂ concentration probes. *J. Geophys. Res* **113**, G04027.
- Rodriguez, V. A. F. (2011). Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta, Universidad Nacional de Colombia.
- Rustad, L., Huntington, T., and Boone, R. (2000). Controls on soil respiration: Implications for climate change. *Biogeochemistry* **48**, 1-6.
- Sainju, U. M., Caesar-TonThat, T., and Caesar, A. (2012). Comparison of soil carbon dioxide flux measurements by static and portable chambers in various management practices. *Soil and Tillage Research* **118**, 123-131.
- Schoenholtz, S. H., Miegroet, H. V., and Burger, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* **138**, 335-356.
- Schrumpf, M., Schulze, E. D., Kaiser, K., and Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences* **8**, 1193-1212.
- Shahidi, B. M. R., Dyck, M., and Malhi, S. S. (2014). Carbon dioxide emissions from tillage of two long-term no-till Canadian prairie soils. *Soil and Tillage Research* **144**, 72-82.
- Shi, W.-Y., Yan, M.-J., Zhang, J.-G., Guan, J.-H., and Du, S. (2014). Soil CO₂ emissions from five different types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, with emphasis on the contribution of winter soil respiration. *Atmospheric Environment* **88**, 74-82.
- Silva, J. E., Lemanski, J., and Resck, D. V. S. (1994). Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca de catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **18**, 541-547.
- Souza, E. D., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Carneiro, M. A. C., Martins, A. P., and Bayer, C. (2014). Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. *Soil and Tillage Research* **139**, 28-36.

- Subke, J.-A., and Bahn, M. (2010). On the 'temperature sensitivity' of soil respiration: Can we use the immeasurable to predict the unknown? *Soil Biology and Biochemistry* **42**, 1653-1656.
- Subke, J.-A., Reichstein, M., and Tenhunen, J. D. (2003). Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in a mature spruce forest in Southern Germany. *Soil Biology and Biochemistry* **35**, 1467-1483.
- Sugihara, S., Funakawa, S., Kilasara, M., and Kosaki, T. (2012). Effects of land management on CO₂ flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. *Soil Biology and Biochemistry* **46**, 1-9.
- Tang, J., Baldocchi, D. D., Qi, Y., and Xu, L. (2003). Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors. *Agricultural and Forest Meteorology* **118**, 207-220.
- Teklay, T., Shi, Z., Attaeian, B., and Chang, S. X. (2010). Temperature and substrate effects on C & N mineralization and microbial community function of soils from a hybrid poplar chronosequence. *Applied Soil Ecology* **46**, 413-421.
- van der Hammen, T. (1974). "The Pleistocene Changes of Vegetation and Climate in Tropical South America."
- Wang, C. K., Yang, J. Y., and Zhang, Q. Z. (2006). Soil respiration in six temperate forests in China. *Global Change Biology* **12**, 2103-2114.
- Wang, W., and Fang, J. (2009). Soil respiration and human effects on global grasslands. *Global and Planetary Change* **67**, 20-28.
- Xiao-Zeng, H., Li, H.-B., and Horwath, W. R. (2013). Temporal Variations in Soil CO₂ Efflux Under Different Land Use Types in the Black Soil Zone of Northeast China. *Pedosphere* **23**, 636-650.
- Xu, M., and Qi, Y. (2001a). Soil surface CO₂ efflux and its variation in a young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains, California. *Global Change Biology* **7**, 667-677.
- Xu, M., and Qi, Y. (2001b). Spatial and seasonal variations of Q₁₀ determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest. *Global Biogeochemical Cycles* **15**, 687-696.
- Zhang, T., Li, Y., Chang, S. X., Jiang, P., Zhou, G., Zhang, J., and Liu, J. (2013). Responses of seasonal and diurnal soil CO₂ effluxes to land-use change from paddy fields to Lei bamboo (*Phyllostachys praecox*) stands. *Atmospheric Environment* **77**, 856-864.
- Zhou, Z., Zhang, Z., Zha, T., Luo, Z., Zheng, J., and Sun, O. J. (2013). Predicting soil respiration using carbon stock in roots, litter and soil organic matter in forests of Loess Plateau in China. *Soil Biology and Biochemistry* **57**, 135-143.