

**ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS CON  
DIFERENTES USOS EN LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO  
LAS PIEDRAS**

**YAQUELINE ECHEVERRY BERMÚDEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2012**

**ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS CON  
DIFERENTES USOS EN LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO  
LAS PIEDRAS**

**YAQUELINE ECHEVERRY BERMÚDEZ**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
Biólogo

**DIRECTOR  
APOLINAR FIGUEROA CASAS. Ph.D.**

**ASESOR (A)  
ISABEL BRAVO REALPE. M. Sc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2012**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

Director

---

Ph.D APOLINAR FIGUEROA CASAS

Jurado

---

M.Sc SANDRA RIVAS ZUÑIGA

Jurado

---

M.Sc LEONIDAS ZAMBRANO POLANCO

**Fecha de sustentación: Popayán, 5 de Marzo de 2012**

## DEDICATORIA

*A Dios por permitirme estar aquí, guiar mi camino, darme conocimiento y sabiduría para poder culminar esta etapa tan importante en mi vida.*

*A mis padres Guillermo Echeverry Gómez y Lilia Bermúdez Pérez por ser tan maravillosos, por bríndame tanto amor, confianza, por su apoyo incondicional en los momentos mas difíciles de mi vida y por su enorme esfuerzo por darme siempre lo mejor, al igual que a mis hermanos.*

*A mis hermanos Angie Vanessa Echeverry Bermúdez y Guillermo Alberto Echeverry Bermúdez por su cariño y por llenar mis días de gran felicidad con su compañía.*

*A mi abuela Agustina Pérez por su amor, confianza y apoyo en todo.*

*A la memoria de mi abuela Martha Elena Gómez, por haberme brindado tanto amor, por enseñarme que a pesar de las adversidades de la vida nunca hay que desfallecer, por haber sido una mujer luchadora y querer siempre lo mejor para todos.*

*A toda mi familia, tíos(as) y primos (as) por ser un apoyo más en mi vida, por su amistad y gran afecto.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Grupo de Estudios Ambientales (GEA) por su contribución en el desarrollo de esta investigación en especial a la Bióloga Lorena Alvear por su colaboración en el componente vegetal.

A mi director del trabajo de grado Apolinar Figueroa Casas. Ph.D. Docente del programa de Biología, por la oportunidad, por su amabilidad y enorme cariño.

Al grupo de investigación en Agroquímica por recibirme con los brazos abiertos y verme como una integrante más del grupo.

A mi asesora del trabajo de grado Isabel Bravo Realpe. M.Sc. Docente del programa de Química, por su cariño, amabilidad, apoyo, confianza, colaboración y grandes aportes en el desarrollo de este trabajo a quien agradezco profundamente.

A los Químicos Camilo Arboleda y Adrian Campo por sus enormes aportes en la elaboración de este trabajo, por su amistad, por ser grandes profesionales y ante todo grandes personas. A Cristian Samboni, por su colaboración desinteresada, por su compañía en los momentos de soledad en el laboratorio y por su valiosa amistad. A Marcela Martínez por su colaboración en la fase de laboratorio, por alegrarme los días en tantos momentos de soledad y por su amistad.

Al Departamento de Biología por contribuir en mi formación profesional. Al laboratorio de Biología en especial a Jhon Carlos por su amabilidad, paciencia y gran colaboración.

Al mayordomo de la reserva natural Arrayanales Don José, por su atención, hospitalidad y valiosa información en este trabajo.

A Pablo Andrés Muñoz y a Guillermo Alberto Echeverry por su colaboración en las salidas de campo y por su enorme amistad.

A los jurados por sus valiosos aportes en el documento final.

A mis compañeros de carrera: Mabell Orobio, Lilia Cuero, Paula Vivas, Viviana Garcés, Johanna Botina, Jennifer Gutiérrez, Marcela Jojoa, Andrés Felipe González, Jason Perafan y Diego Martínez, por sus consejos, apoyo incondicional y por su amistad.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
1.1    Pregunta de Investigación.....	14
<b>2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	15
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	16
3.1    OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2    OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
<b>4 MARCO TEÓRICO</b> .....	17
4.1    CUENCA HIDROGRÁFICA.....	17
4.2    SUBCUENCA.....	17
4.3    MICROCUENCA.....	17
4.4    SUELO.....	17
4.4.1    Andisoles.....	18
4.4.2    Suelos altoandinos.....	18
4.4.3    Calidad del suelo.....	19
4.5    INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	19
4.5.1    Biomasa microbiana - Carbono.....	20
4.5.2    Respiración microbiana.....	21
4.5.3    Cociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	21
4.6    CICLO DEL CARBONO.....	22
4.7    RELACIÓN SUELO, CICLO DEL CARBONO Y CALENTAMIENTO GLOBAL.....	23
4.8    PROTOCOLO DE KYOTO.....	24
4.9    PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.....	25
4.9.1    Textura.....	25
4.9.2    Humedad.....	25
4.9.3    Densidad.....	25
4.9.4    Materia orgánica.....	26
4.9.5    Nitrógeno.....	26
4.9.6    pH.....	26
4.10    EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A).....	26
4.10.1    Lista de control verificación o chequeo.....	26
4.10.1.1    Listas de Control Simple.....	27
4.10.1.2    Listas de Control Descriptivas.....	27
4.10.1.4    Listas de Control de Escala y Peso.....	27
4.10.2    Matriz de FEARO.....	27
<b>5 ANTECEDENTES</b> .....	29
<b>6 METODOLOGÍA</b> .....	30
6.1    ÁREA DE ESTUDIO.....	30
6.1.1    Caracterización de los Sistemas de Producción.....	30
6.1.2    Clima.....	31
6.2    MÉTODOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE SUELO.....	31

6.3	ESTIMACIÓN DE BIOMASA MICROBIANA - C.....	31
6.4	ACTIVIDAD MICROBIANA - CO <sub>2</sub> .....	33
6.5	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO .....	33
6.5.1	Análisis físicos .....	34
6.5.1.1	Humedad .....	34
6.5.1.2	Textura.....	34
6.5.1.3	Densidad Aparente por el método del cilindro .....	34
6.5.2	Análisis químicos .....	35
6.5.2.1	pH.....	35
6.5.2.2	Materia orgánica .....	35
6.5.2.3	Determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl .....	35
6.6	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
6.7	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	35
7	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	37
7.1	ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS SUELOS .....	37
7.2	ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS SUELOS.....	41
7.3	VALORACIÓN DEL C DE BIOMASA MICROBIANA.....	53
7.4	ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA .....	57
7.5	COCIENTE METABOLICO q(CO <sub>2</sub> ) .....	60
8	EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES VARIABLES ANALIZADAS .....	63
9	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	65
9.1	Lista de chequeo para el cultivo de pasto de corte y la ganadería extensiva.	65
9.2	Matriz de FEARO para ganadería extensiva .....	67
9.3	Matriz de FEARO para el cultivo de pasto de corte .....	71
10	<b>CONCLUSIONES</b> .....	75
11	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	76
12	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	ANEXOS.....	81

## LISTA DE ANEXOS

		<b>Pág.</b>
Anexo 1.	Parámetros de comparación para niveles de fertilidad en suelos de clima medio (Silva, 2000).	81
Anexo 2.	Tratamiento Estadístico.	82
Anexo 3.	Vegetación dominante en los diferentes usos del suelo.	88



## INDICE DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
Figura 1.	Ciclo del Carbono.	22
Figura 2.	Mapa área de estudio.	30
Figura 3.	Comportamiento de la humedad para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.	38
Figura 4.	Comportamiento de la densidad aparente para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.	40
Figura 5.	Comportamiento del pH para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.	43
Figura 6.	Comportamiento del porcentaje de C orgánico en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	45
Figura 7.	Comportamiento de la materia orgánica en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	46
Figura 8.	Aporte de materia orgánica por parte del ganado en el bosque.	49
Figura 9.	Comportamiento para el porcentaje de nitrógeno en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	49
Figura 10.	Comportamiento de la relación C/N para los diferentes usos de suelo.	51
Figura 11.	Comportamiento del C de biomasa microbiana en función del tiempo para los diferentes usos del suelo.	54
Figura 12.	Comportamiento de la actividad microbiana en función del tiempo para los diferentes usos del suelo.	58
Figura 13.	Comportamiento del cociente metabólico en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	62
Figura 14.	Cultivo y ganadería presente en la zona.	65
Figura 15.	Lista de chequeo para las actividades antrópicas realizadas en la zona.	66
Figura 16.	Ganadería presente en la zona.	67
Figura 17.	Fertilizante químico utilizado para la pastura.	68
Figura 18.	Matriz de FEARO para ganadería extensiva.	70
Figura 19.	Cultivo de pasto de corte.	71
Figura 20.	Cal utilizada para la elaboración de abonos orgánicos.	72
Figura 21.	Matriz de FEARO para el cultivo de pasto de corte.	73

## INDICE DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1.	Propiedades físicas de los suelos evaluados.	37
Tabla 2.	Prueba de Duncan para el porcentaje de humedad en función del tiempo.	39
Tabla 3.	Prueba de Duncan para la densidad aparente en función del tiempo.	41
Tabla 4.	Propiedades químicas de los suelos estudiados.	41
Tabla 5.	Prueba de Duncan para el pH en función del uso de suelo.	44
Tabla 6.	Prueba U de Mann – Whitney para el pH en función del tiempo.	44
Tabla 7.	Prueba U de Mann – Whitney para el pH en función del tiempo.	45
Tabla 8.	Prueba U de Mann – Whitney para el pH en función del tiempo.	45
Tabla 9.	Prueba U de Mann – Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del tiempo.	47
Tabla 10.	Prueba U de Mann – Whitney para el porcentaje de materia orgánica en función del tiempo.	47
Tabla 11.	Prueba U de Mann – Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del tiempo.	48
Tabla 12.	Prueba U de Mann – Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del tiempo.	48
Tabla 13.	Prueba U de Mann – Whitney para el porcentaje de nitrógeno en función del uso de suelo.	50
Tabla 14.	Prueba de Duncan para el porcentaje de nitrógeno en función del tiempo.	51
Tabla 15.	Prueba de Duncan para la relación C/N en función del tiempo.	52
Tabla 16.	Prueba de Duncan para la relación C/N en función del uso de suelo.	52
Tabla 17.	Análisis de algunas propiedades químicas de la hojarasca presente en el bosque.	53
Tabla 18.	Comportamiento del C de biomasa microbiana en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	53
Tabla 19.	Prueba U de Mann – Whitney para el C de biomasa microbiana del uso de suelo.	56
Tabla 20.	Variables ambientales.	56
Tabla 21.	Prueba de Duncan para el C de biomasa microbiana en función del tiempo.	57
Tabla 22.	Comportamiento de la actividad microbiana en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.	57
Tabla 23.	Prueba de Duncan para el porcentaje de humedad en función del tiempo.	60
Tabla 24.	Prueba de Duncan para el cociente metabólico en función del tiempo.	64

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó la actividad y biomasa microbiana en forma de respiración y carbono total en tres usos del suelo, bosque, cultivo y pastura en la parte alta de la microcuenca del río Las Piedras.

El trabajo de campo se realizó en la reserva natural Arrayanales, vereda Quintana, corregimiento Quintana, municipio de Popayán. Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca. Se valoró la cantidad de C de biomasa microbiana por el método de fumigación-extracción y la actividad microbiana por respirometría de acuerdo al método descrito por Montenegro (2008).

Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio con tres tratamientos consistentes en tres usos de suelo, bosque, cultivo y pastura. Las variables independientes corresponden a tiempo, uso de suelo, en un periodo de 6 meses en forma mensual y como variables dependiente parámetros físicos, químicos y biológicos analizados. Se aplicó el programa SPSS versión 11.5 para el tratamiento estadístico. Se elaboró un análisis cualitativo del impacto que está generando la agricultura con cultivo de pasto y la ganadería extensiva sobre los componentes del ecosistema, utilizando los métodos, lista de chequeo y matriz FEARO. La evaluación ambiental permitió identificar los componentes más afectados por las actividades agropecuarias como son: suelo, flora, fauna y paisaje, puesto que las coberturas vegetales propias de estos ecosistemas son eliminadas o transformadas debido al cambio de uso; causando alteración de propiedades físicas químicas y biológicas en suelos de cultivo y pastura en los que se detecta incremento de MO, N, pH, respiración microbiana y disminución de biomasa con respecto a los de bosque, como producto del manejo por la aplicación de enmiendas de cal, de abonos orgánicos y de fertilizantes induciendo a mayor liberación de gases efecto invernadero y contribuyendo al calentamiento global.

**Palabras clave:** Microcuenca, uso de suelo, biomasa microbiana, actividad microbiana, evaluación ambiental.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado como sustento físico para las plantas y es donde se dan los procesos de degradación de la materia orgánica que a largo plazo determinan la producción primaria (Allison, 2006), también desempeña un importante papel en el ciclo del Carbono (C) y puede representar una fuente importante de CO<sub>2</sub> y de otros gases invernadero a la atmósfera. La cantidad total de C que contiene el suelo es dos a tres veces superior a la del CO<sub>2</sub> atmosférico (Bowman, 1990). En el suelo, este gas se produce, fundamentalmente, a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de las plantas, siendo la descomposición microbiana de compuestos orgánicos el proceso más importante que lo genera. Durante la descomposición una parte del C es devuelto a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, mientras que otra se transforma en otros compuestos o se almacena en las propias estructuras microbianas.

La biomasa microbiana (BM) define el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición y reconversión de la materia orgánica y la transformación de nutrientes (Dalal y Meyer, 1987 y Smith, y Paul, 1990), además juega un papel muy importante en la formación de la estructura del suelo, así como en su estabilización y se puede usar como un indicador sensible a los cambios ambientales. Las alteraciones en la biomasa microbiana, como el descenso de la misma, parece estar determinado por propiedades de las comunidades microbianas, su tipología y actividad, así como por las condiciones climáticas a las que se ve sometido el suelo, más que a sus características edáficas (Van Gestel *et al.*, 1991).

De acuerdo a los procesos que se llevan a cabo constantemente en el suelo, es importante realizar este tipo de estudios en ecosistemas altoandinos debido a que estos presentan una alta intervención antrópica y continuamente están sufriendo procesos de transformación y degradación que con el desarrollo de actividades agropecuarias inadecuadas están ocasionando cambios en el suelo, además presentan una gran fragilidad a las variaciones climáticas. Por lo cual es necesario conocer el proceso que cumple la actividad biológica en el ciclo del Carbono para la producción de CO<sub>2</sub> el cual se da muy lentamente pero a diario afectando el ambiente.

La FAO (2002) reporta que las emisiones de gases correspondientes al cambio de uso de la tierra, deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas fueron cerca de 140 Pg entre 1850 y 1990 (de 0,4 Pg/año en 1850 a 1,7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono. De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación. Por lo general, en los

bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono (Robert, 2002).

Esta investigación se llevó a cabo en la parte alta de la microcuenca del río Las Piedras en la reserva natural Arrayanales vereda Quintana, municipio de Popayán. Se evaluó la cantidad de C de biomasa microbiana por el método fumigación-extracción y la actividad microbiana por respirometría en suelos de bosque, cultivo y pastura además se realizaron algunos análisis físicos y químicos para observar la influencia del uso del suelo sobre la actividad biológica y proponer alternativas de gestión para un mejor manejo del suelo.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para Colombia, los ecosistemas altoandinos tienen gran importancia porque son fuente de agua y de hábitat con una gran variedad tanto de flora como de fauna, que en la mayoría de los casos son especies endémicas.

Los ecosistemas altoandinos del Departamento del Cauca, están siendo alterados continuamente por la intervención antrópica, en la zona de estudio (parte alta de la microcuenca del río Las Piedras) se desarrollan actividades agropecuarias como ganadería extensiva de doble propósito (leche y carne) y siembra de diferentes cultivos en su mayoría de pancoger que causan impactos negativos al ecosistema especialmente al suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El uso inadecuado de diferentes agroquímicos como plaguicidas, fertilizantes y enmiendas, producen contaminación a los diferentes componentes del ecosistema (agua, aire, suelo, vegetación y población) y afecta su materia orgánica, directamente al componente vivo del recurso edáfico, e influyen en los ciclos biogeoquímicos, contribuyendo al cambio climático por el aumento de la producción de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ).

Por lo anterior se planteó la siguiente investigación que permita estimar la actividad y biomasa microbiana, valorando y comparando la producción de gases en cada uno de los sistemas (bosque, cultivo de pasto de corte y pastura) y su relación con el efecto invernadero debido a la producción de  $\text{CO}_2$  generado por la actividad biológica medida por respirometría, a mayor producción de este gas mayor será la contribución al efecto invernadero.

### **1.1 Pregunta de Investigación**

¿Qué influencia tiene el uso del suelo sobre la actividad y biomasa microbiana expresada en forma de respiración y carbono total?

## 2 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación está enmarcada en los lineamientos del proyecto Monitoreo Ambiental para Cambio Climático en Ecosistemas Agrícolas Altoandinos – MACACEA dentro del componente suelos el cual intenta generar alternativas de adaptación frente al cambio climático a través de un monitoreo en sistemas representativos de la región. Es importante realizar esta investigación porque en la zona se llevan a cabo una serie de prácticas agropecuarias que con el cambio del uso del suelo y la sobreexplotación están ocasionando un aumento del CO<sub>2</sub> a la atmosfera, contribuyendo con el incremento de los gases de efecto invernadero que contaminan el ambiente y modifican las características propias de la zona (microcuenca del río las Piedras). Por lo cual es necesario conocer la cantidad de carbono de biomasa microbiana y la actividad presente en los tres usos del suelo (bosque, cultivo y pastura), debido a que está muy relacionada con la productividad sostenida de los agroecosistemas y la calidad ambiental (Janzen, 1987), también es una herramienta propicia para conocer el potencial de fertilidad del suelo y es de gran importancia en la modelación de los procesos de inmovilización/mineralización de nutrientes en el suelo (Joergensen *et al.*, 1996). Teniendo en cuenta que las propiedades biológicas y bioquímicas como la respiración edáfica, la biomasa microbiana y otros son más sensibles y valiosas en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y en los procesos de transformación de los residuos orgánicos; además dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y fáciles de medir (Bandick y Drick, 1999).

Por tal razón, teniendo conocimiento de la actividad y biomasa microbiana en los usos del suelo, se puede valorar el efecto de la intervención antrópica y proponer alternativas de gestión para los ecosistemas altoandinos frente al aumento de la emisión de gases de efecto invernadero.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la actividad y biomasa microbiana estimada en forma de respiración, y carbono total en tres usos del suelo (bosque, cultivo y pastura) de la parte alta de la microcuenca del río Las Piedras.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar física y químicamente los suelos a estudiar mediante algunos parámetros como humedad, textura, densidad aparente, pH, materia orgánica y nitrógeno total.
- Estimar la actividad microbiana mediante la respiración en tres usos del suelo bosque, cultivo y pastura.
- Valorar el carbono total de biomasa microbiana en tres usos del suelo bosque, cultivo y pastura.
- Realizar una evaluación de impacto ambiental cualitativa que permita determinar los efectos que están generando los cambios del uso del suelo.



## 4 MARCO TEÓRICO

Para la realización de esta investigación es importante conocer varios aspectos y conceptos para tener una visión más amplia del tema a desarrollar dentro de un ecosistema y sus interacciones con el medio los cuales se presentan a continuación.

### 4.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

Es el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

### 4.2 SUBCUENCA

Está constituida por varios ríos tributarios que van a dar a un cauce principal, formando una unidad territorial de menor superficie que la cuenca.

### 4.3 MICROCUENCA

Está *formada* por un pequeño río o riachuelo tributario de una subcuenca, es la unidad más pequeña de un paisaje. Es lo suficientemente grande como para cubrir la totalidad de los componentes que interactúan: atmósfera vegetación, plantas, suelos, aguas y roca madre. El tamaño mínimo de la zona de captación debe generar una corriente permanente.

Los flujos de elementos en la microcuenca se asocian con la erosión de la roca; precipitación de la atmósfera; entradas antropogénicas de insumos (la fertilización); aguas de escorrentía; erosión mecánica debido a la producción de partículas en suspensión exportación de biomasa (tala, recolección); deposición de partículas y gases. La microcuenca es un ecosistema terrestre con un conjunto de organismos vivos que interactúan de manera compleja entre sí y con su entorno (CRC, 2006 y León, 2010).

### 4.4 SUELO

Hay muchos conceptos de suelo dependiendo del ángulo y enfoque que se le dé al mismo. Sin embargo, resumiendo todos ellos puede llegar a lo siguiente: *“Suelo: Es un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas”* (Sánchez, 2007).

Es un ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad; trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa; dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente (Sánchez, 2007).

Las tres fases del suelo coexisten en un estrecho equilibrio. La fase sólida está constituida principalmente por sustancias inorgánicas de diferente composición química, algunas de ellas son mezclas de compuestos denominadas rocas, cuya meteorización conduce a los minerales primarios y secundarios formadores del suelo. La fase líquida se define como una solución que posee equilibrio de electrolitos, de gran importancia para la nutrición de las plantas, en ella se encuentra presentes todos los nutrientes necesarios para los diferentes cultivos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cobre, cinc, hierro, manganeso, entre otros; también contiene moléculas orgánicas solubles de peso molecular reducidas. Las concentraciones de estos elementos en la solución del suelo dependen de sus propiedades físicas y químicas, como de la presencia y solubilidad de sus componentes inorgánicos y orgánicos, temperatura y presión de los diferentes gases en su atmósfera. La fase gaseosa ocupa volúmenes que oscilan de cero al 45% del volumen total. Sus componentes principales son los mismos que los del aire en la atmósfera: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y los gases inertes (Fassbender y Bornemisza, 1987).

#### **4.4.1 Andisoles**

Los andisoles en Colombia están ampliamente distribuidos en la región andina del país, especialmente en la cordillera central, en las cordilleras occidental y oriental también se presentan pero en menor proporción.

Los suelos de Ando, se desarrollan a partir de una amplia gama de depósitos de cenizas volcánicas. Estos suelos, fundamentalmente consisten en un horizonte A pardo oscuro a negro, de 30 cm aproximadamente de espesor, estructura grumosa y granular fina, con un contenido de materiales orgánicos hasta del 30 % en los miembros más oscuros del grupo. Las propiedades ándicas resultan principalmente de la presencia de cantidades significativas de complejos aluminio-humus de alofana, imogolita y ferrihidrita. Los materiales amorfos se forman durante el intemperismo y de otros materiales parentales con contenidos significativos de vidrio volcánico. El intemperismo y la transformación mineral, son los procesos dominantes en los andisoles, las translocaciones y acumulaciones de los compuestos translocados generalmente son mínimos, sin embargo, puede producirse migración de la materia orgánica complejada con aluminio, bajo condiciones determinadas por la naturaleza de las sustancias húmicas y del componente mineral (Malagon y Pulido, 1995).

#### **4.4.2 Suelos altoandinos**

Todos los animales, plantas y demás seres tejen una trama de vida que se delimita de acuerdo con formaciones vegetales, climas, cambios de temperatura, tipo de suelo, lluvia y altura. Cada uno tiene funciones que le definen. Una forma privilegiada y única al paisaje. Tanto desde el punto de

vista climático, geológico, edáfico e hídrico, como teniendo en cuenta las regiones naturales, formaciones vegetales, provincias biogeográficas y zonas de vida entre otros (CRC, 2007).

Para definir las características de estas áreas existen metodologías con diversos criterios que permiten identificarlas, como lo son: las condiciones bioclimáticas y las formas de vida, que permiten clasificarlas haciendo énfasis en la ubicación en pisos térmicos (CRC, 2007).

Los ecosistemas altoandinos se caracterizan por estar ubicados entre los 2200 y 3000 m.s.n.m. correspondiente a bosques nublados productores de agua. Las especies que conforman el estrato superior son variadas, dominando el granizo y el tuno (CRC, 2007).

#### **4.4.3 Calidad del suelo**

La calidad del suelo se define como la “capacidad permanente del suelo para funcionar como un sistema vivo, dentro de los límites del ecosistema y el uso de la tierra, mantener la productividad biológica, promover la calidad del aire y el ambiente del agua, mantener las plantas, los animales y la salud humana” (Doran y Safley, 1997).

La calidad del suelo es uno de los factores más importantes en el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables (Wang y Gong, 1998). El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan principalmente el grado y la dirección de los cambios en su calidad en tiempo y espacio (Quiroga y Funaro, 2004).

### **4.5 INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO**

A pesar de la creciente preocupación acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues presentan una condición y proporcionan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Bautista *et al.*, 2004).

Según Adriaanse (1993) los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él.

Hünнемeyer *et al.* (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos de una intervención; (c)

monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Acuña *et al.*, 2006).

a) Describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesible a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente como lo reporta Acuña *et al.* (2006), Cerón y Melgarejo (2005), Bautista *et al.* (2004).

#### **4.5.1 Biomasa microbiana - Carbono**

Responde rápidamente a las adiciones de carbono fácilmente aprovechable. Por ello, suministra información acerca de la biomasa y la reserva de nutrientes (Insam, 1990). La vida y dinámica de ésta depende y responde a los cambios producidos por las prácticas de manejo (Powlson *et al.*, 1987).

La biomasa microbiana es el componente más activo del suelo, forma parte del "pool" de la materia orgánica y cumple una función muy importante en el humus, ya que interviene en los procesos de mineralización de nutrientes, una vez muertos ponen a disposición de otros microorganismos y de las plantas los nutrientes contenidos en los restos microbianos y, por otro lado, también participan en la inmovilización. Así, los ciclos de algunos nutrientes mayoritarios, como el carbono, demuestran que la biomasa microbiana es clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico; por ello, algunos autores afirman que la biomasa microbiana y su actividad en el suelo puede ser empleada como índice de comparación entre sistemas naturales o como indicador de las variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo. Es decir, que los parámetros microbiológicos y por lo tanto bioquímicos, sirven para indicar posibles cambios netos en el equilibrio del suelo que no podrían detectarse con métodos tradicionales (Acuña *et al.*, 2006).

Algunos autores recomiendan indicadores sencillos de medir y de interpretar. Los más comunes que se utilizan son, entre otros, la biomasa microbiana, la respiración del suelo y las relaciones con la materia orgánica y el estado fisiológico del suelo, donde se ve involucrada la energía en los procesos orgánicos. En cuanto a la biomasa microbiana, este indicador expresa la cantidad de microflora presente en el suelo a través de la extracción del

carbono microbiano. El mismo se ve afectado por la agroclimatología que sufren las muestras *in situ*, es decir la humedad, el calor, la biodiversidad de residuos orgánicos al ecosistema y por sustancias agresivas a la actividad microbiana (Acuña *et al.*, 2006).

#### **4.5.2 Respiración microbiana**

Es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes “pools” de carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García, 2008).

La actividad microbiana del suelo puede ser estimada indirectamente en la determinación de la respiración basal. Esta consiste en determinar la producción de O<sub>2</sub> en el medio o bien la concentración de CO<sub>2</sub> desprendido (función de la actividad biológica y del contenido del suelo en carbono orgánico fácilmente mineralizable), mediante la técnica de incubación estática que captura el producto de mineralización en una solución alcalina durante un periodo de tiempo bajo condiciones ambientales óptimas (Acuña *et al.*, 2006).

Las mediciones de CO<sub>2</sub>, proveen una indicación sensitiva de la respuesta de la actividad microbiana a variaciones de temperatura y humedad, los efectos de humedecimiento – secado, la aplicación de agroquímicos o elementos metálicos, la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio, entre otros. A pesar de sus limitaciones, la respiración continúa siendo el método más popular que se usa como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica (Acuña *et al.*, 2006).

#### **4.5.3 Cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>)**

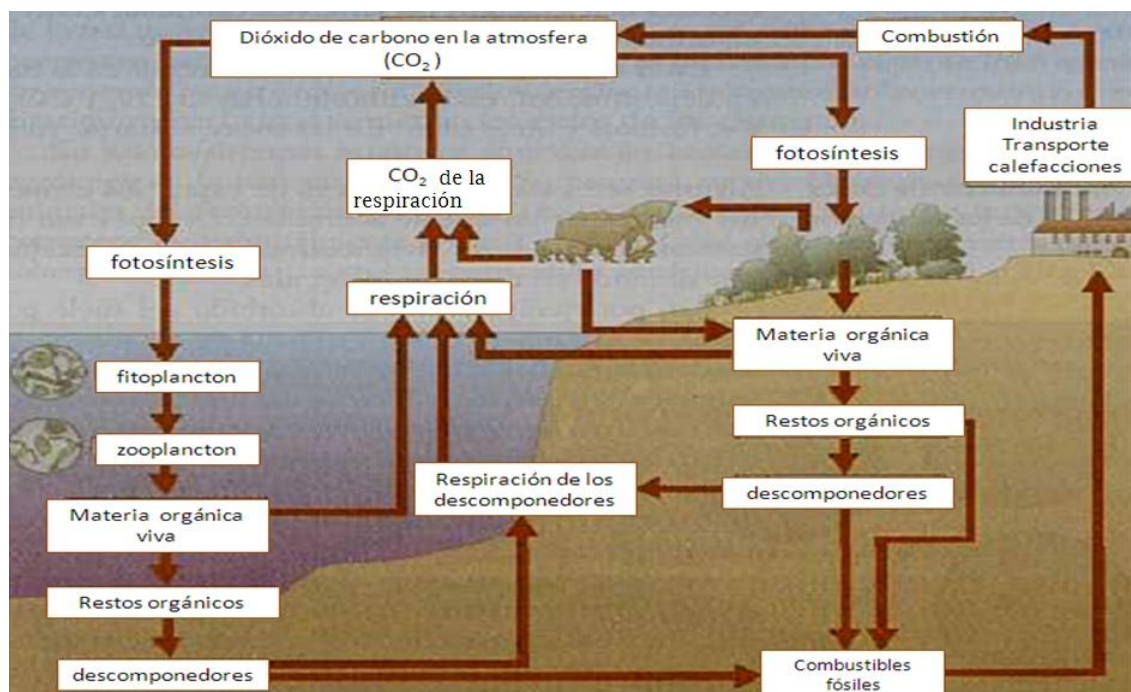
Relaciona la respiración (CO<sub>2</sub>) y la cantidad de C-biomasa microbiana por unidad de tiempo, donde en los ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de qCO<sub>2</sub> debe ser elevado y es bajo al referirse a ecosistemas maduros, es decir la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o estabilidad (Doran *et al.*, 1994) citado por Montenegro (2008), salvo que las condiciones sean adversas para el buen funcionamiento del mismo.

## 4.6 CICLO DEL CARBONO

El ciclo global del carbono se describe tomando en cuenta los intercambios entre la atmósfera y la biosfera continental, así como las modificaciones causadas por las actividades humanas (Saugier, 2006).

Los mayores depósitos de carbono se encuentran en los sedimentos, océanos, combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y en la materia orgánica del suelo. Las plantas al crecer también fijan y almacenan carbono. Si el sistema global está en un estado de equilibrio dinámico, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera permanece constante. El Carbono, principalmente en forma de  $\text{CO}_2$ , se intercambia mediante procesos naturales entre la atmósfera, la vegetación terrestre y la hidrósfera. Este ciclo se lleva a cabo por la fotosíntesis en plantas, respiración en organismos, y por la disolución de  $\text{CO}_2$  en el agua. Estos procesos dependen de factores climáticos como temperatura y precipitación, por lo que entre otras cosas, los cambios estacionales influyen en las concentraciones de  $\text{CO}_2$ . Los efectos de la fertilización debidos al dióxido de carbono y al nitrógeno influyen también en la fotosíntesis. En condiciones naturales, es decir sin intervenciones antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, el carbono se movería en un ciclo natural que estaría en equilibrio (Saugier, 2006).

Figura 1. Ciclo del Carbono



Fuente: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/04-9Car.jpg>.

#### **4.7 RELACIÓN SUELO, CICLO DEL CARBONO Y CALENTAMIENTO GLOBAL**

El suelo es un recurso viviente, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la producción de alimentos, y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global. Los procesos de descomposición y respiración que suceden en él tienen un papel importante para el mantenimiento del balance entre la producción y el consumo del CO<sub>2</sub> de la biósfera, tanto al reciclar el C atmosférico que está en forma de CO<sub>2</sub> como en la formación de la materia orgánica, la cual es reservorio no solo del C atmosférico sino de otros elementos. Las etapas esenciales de los ciclos globales del agua, C, N, P y S suceden en el suelo, la velocidad del ciclaje y la disponibilidad de estos elementos están siendo alteradas continuamente por las diferentes formas de vida y por la constante búsqueda de fuentes de alimento y energía (Balesdent *et al.*, 2000). Así, el suelo no solo es la base para la agricultura y para los diferentes ecosistemas, sino que además de él depende toda la vida del planeta. Las prácticas de manejo convencionales como el arado, los patrones de cultivo y el uso de plaguicidas y fertilizantes han tenido influencia sobre la calidad del agua y de la atmósfera, ya que han generado cambios en la capacidad del suelo para producir y consumir gases como CO<sub>2</sub>, óxido nitroso y metano. Además, el manejo convencional ha promovido la pérdida de la materia orgánica, reduciendo la fertilidad, la capacidad de campo y la estabilidad estructural, esto ha incrementado la erosión y el CO<sub>2</sub> atmosférico; por consiguiente, las prácticas agrícolas convencionales han contribuido al calentamiento global. Los niveles elevados de gases asociados al efecto invernadero y las alteraciones en los ciclos hidrológicos han producido cambios en el clima global y la reducción del ozono. Para afrontar esta amenaza se requiere comprender cómo el manejo del suelo está afectando sus procesos y por otra, plantear alternativas de uso que mantengan tanto la calidad ambiental como la eficiencia, es decir, alternativas sostenibles (Haider, 2009 y Cerón, 2005).

El protocolo de Kyoto reconoce que el mal uso de los suelos contribuye a las emisiones netas de de carbono hacia la atmosfera, incrementando de esta manera el efecto del calentamiento global y a la degradación de este recurso. El sobrepastoreo de las tierras de pastoreo es una de las principales causas de la degradación, especialmente en zonas subhúmedas, semiáridas o áridas donde predominan las pasturas. El manejo con fuego es otro método utilizado para controlar las especies leñosas pues la quema de bosques nativos en su mayoría de veces se hace para aumentar las tierras destinadas a la agricultura o de pastoreo, lo que involucra pérdidas de carbono vegetal hacia la atmósfera (Balesdent *et al.*, 2000).

Cuando los bosques nativos son destinados a tierras para pastoreo, la emisión de metano por el ganado hace que se incrementen los niveles de carbono en la atmosfera; también se generan problemas adicionales pues el sobrepastoreo

es la principal causa de degradación pero los mecanismos que la causan son muy variables. En las áreas tropicales estas prácticas favorecen la compactación del suelo y las inundaciones; en las zonas áridas provoca principalmente una disminución en la cobertura del suelo y la consecuente erosión hídrica o eólica y desertificación (Robert, 2002).

La FAO (2002) reporta que las emisiones de gases correspondientes al cambio de uso de la tierra, deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas fueron cerca de 140 Pg entre 1850 y 1990 (de 0,4 Pg/año en 1850 a 1,7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono. De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación. Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono (Robert, 2002).

#### **4.8 PROTOCOLO DE KYOTO**

El Protocolo de Kyoto acepta el uso de ciertos sumideros de carbono para el cumplimiento de los compromisos obligatorios asumidos por los países. En el Artículo 3.3 se establece que sólo aquellos sumideros relacionados con actividades de “forestación, reforestación y deforestación” y que hayan sido inducidos directamente por actividades humanas posteriores a 1990, son elegibles. El Artículo 3.4 permite que se agreguen otras actividades adicionales en el futuro, tales como las tierras de pastoreo, entre otras. Varios países ya han solicitado la inclusión de sumideros resultantes de cambios en el uso de la tierra y manejo de bosques no contemplados en el Artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto. Las definiciones de “forestación” (implantación de bosques en tierras con otro tipo de vegetación) y “deforestación” (eliminación de bosques y conversión a otros usos) parecen a primera vista bastante sencillas, aunque es necesaria una definición universalmente aceptada de bosque. El concepto de “reforestación” plantea numerosas alternativas y su definición ha sido motivo de polémicas. El Informe Especial del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (Robert, 2002) sobre cambios en el uso de la tierra y forestación publicado en mayo de 2000 proyectó varios de estos conceptos, aunque dejó muchas definiciones dadas a decisiones políticas. Tal es caso de los Ministros de Ambiente de la Unión Europea que se han opuesto a aceptar la inclusión de sumideros en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Esta posición será seguramente acompañada por la Alianza de Estados-Islands (AOSIS), por China y otros países. Las organizaciones no gubernamentales ambientalistas también



hacen campaña por este objetivo. Por otra parte, otro grupo de países como Estados Unidos, Canadá, Francia y Bélgica se han pronunciado a favor de la inclusión de los sumideros en el MDL. Esta posición es también apoyada por varios países de África y del Sureste de Asia. Las diversas posiciones en torno a este tema están claramente empañadas de intereses políticos y económicos y parecen tener una muy débil relación con el objetivo ambiental de combatir el cambio climático (Robert, 2002).

## **4.9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO**

### **4.9.1 Textura:**

Es la relación existente entre los contenidos de las diferentes fracciones granulométricas que constituyen el suelo. Esta tiene influencia en la aeración del terreno, la permeabilidad, la capacidad de retención de agua. Existen cuatro tipos de clasificaciones de acuerdo con la textura: textura arcillosa (dan suelos plásticos y difíciles de trabajar que se conocen como suelos pesados o fuertes), textura limosa, (son suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua), textura arenosa ( da suelos ligeros, dada su escasa plasticidad y su baja dureza, que los hace muy fáciles de trabajar, texturas francas o equilibradas (al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables.

La textura puede afectar la facilidad de laboreo del terreno, susceptibilidad a la erosión, la facilidad de germinación de las semillas, adecuada penetración de las raíces, contenido y retención de nutrientes, el contenido de materia orgánica, la aireación, contenido ,retención y penetración del agua (Sanchez,1990).

### **4.9.2 Humedad:**

El agua del suelo está íntimamente relacionada con un sinnúmero de propiedades, entre las que cabe mencionar: presencia, cantidad y tipo de coloides; cantidad y distribución del espacio poroso, en especial el microporoso; permeabilidad; escorrentía; nivel freático; drenaje natural y presencia de capas endurecidas todas relacionadas con la pedogenesis y el manejo de los suelos ( Malagon y Pulido,1995 )

### **4.9.3 Densidad:**

La densidad se define como la masa por unidad de volumen. Densidad real se designa de esta forma a la densidad de la fase solida es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que esta alrededor de  $2.65\text{g/cm}^3$ . La densidad aparente, refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que influya tanto a la fase solida como a la gaseosa englobada en ella. La densidad aparente se ve afectada por el contenido de materia orgánica a menor densidad y a mayor profundidad del suelo mayor densidad (Sánchez, 1990).

#### **4.9.4 Materia orgánica:**

La Materia orgánica (MO) es uno de los componentes del suelo más complejos que existen en la naturaleza, complejidad que se refleja en su composición química. Por ello, se dice que la materia orgánica del suelo (MOS), contiene probablemente la mayor parte, sino todos, los compuestos orgánicos que ocurren naturalmente, porque se origina de los productos metabólicos y los tejidos de plantas, animales y microorganismos. La MO tiene un profundo efecto sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de la planta, además sirve como fuente de N, P y S a través de su mineralización (Jenkinson, 1981).

#### **4.9.5 Nitrógeno:**

Es un elemento fundamental en la constitución de diversas estructuras celulares: proteínas, aminoácidos, ácidos nucleídos, bases nitrogenadas, aminas y amidas. Estos constituyentes de naturaleza orgánica, predominan en los materiales del suelo y conforman entre el 97 y 99% del nitrógeno presente en dichos suelos. El nitrógeno orgánico no está disponible para la nutrición por diversos microorganismos del suelo (Bravo *et al.*, 2003).

#### **4.9.6 pH:**

El pH regula las propiedades químicas, físicas del suelo y dispone la actividad física, la desaturación va acompañada de una peptización de los coloides, este fenómeno disminuye la permeabilidad que es una propiedad física del suelo. El movimiento hacia arriba y hacia abajo los componentes del suelo depende del pH. El pH regula la actividad biológica del suelo, condicionando su fertilidad, es decir la posibilidad de desarrollo de un organismo (Bravo *et al.*, 2003).

### **4.10 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A)**

La evaluación de impacto ambiental, se refiere a la predicción y valoración de los efectos de las actividades antrópicas sobre la estructura y el funcionamiento no solo de sistemas naturales sino también de aquellos transformados por la acción humana como por ejemplo un campo de cultivo o incluso una ciudad (Figueroa *et al.*, 1998).

Se aplica a los diferentes componentes tales como: agua, suelo, vegetación los cuales están relacionados con el medio en estudio (Figueroa *et al.*, 1998).

#### **4.10.1 Lista de control verificación o chequeo**

Consiste en una relación de factores y parámetros ambientales, con el objeto de orientar a quienes elaboran un estudio de impacto ambiental, considerando todos sus aspectos y variables sin dejar ningún elemento importante para la toma de decisiones.

Estas listas tienen sus orígenes desde los inicios de las prácticas de E.I.A., y son hoy día, continuamente utilizadas en diagnósticos ambientales en el área de influencia de proyectos en la comparación de alternativas.

Las listas de chequeo proporcionan en forma rápida una idea general sobre aquellas actividades de un proyecto que pueden afectar el ambiente y la salud de la población, de los factores ambientales que necesitan ser evaluados y de los posibles impactos ambientales sobre los que el evaluador deberá profundizar y formular juicios técnicos (Figueroa *et al.*,1998).

Existen diferentes tipos de listas de chequeo:

- Listas de Control Simple
- Listas de Control Descriptivas
- Listas de Control Escalas
- Listas de Control de Escala y Peso

**4.10.1.1 Listas de Control Simple:** Estas fueron las primeras en ser concebidas. Enumeran los factores ambientales y en algunas ocasiones sus respectivos indicadores, esto es, los parámetros que permitan el establecimiento de medidas para un cálculo (cuantitativo o cualitativo) de la magnitud de los impactos. En muchos casos incluyen listas de acciones a desarrollar en un proyecto.

**4.10.1.2 Listas de Control Descriptivas:** Permiten ver todos los parámetros ambientales y también dan una orientación para el análisis de impactos ambientales, esta lista puede tomar forma de cuestionario, en el cual una serie de preguntas intentan dar un tratamiento integrado al análisis de los impactos.

**4.10.1.3 Listas de Control de Escalas:** Aquí se presentan los medios para atribuir valores numéricos o símbolos a cada factor ambiental, permitiendo la clasificación y comparación de un proyecto para escoger alternativa más favorable.

**4.10.1.4 Listas de Control de Escala y Peso:** Incorporan un grado de importancia de cada impacto para valoración de su magnitud. Se han desarrollado para proyectos de uso de recursos hídricos, aunque su enfoque puede ser ampliado para evaluación de áreas con una visión integrada de los recursos.

#### **4.10.2 Matriz de FEARO**

Su nombre deriva de las siglas de la Oficina Federal de Revisión y Análisis Ambientales (FEARO) de Canadá, la cual desarrollo dos matrices con el objeto de realizar una evaluación preliminar, sin que se necesitaran conocimientos

ambientales profundos en donde la primera sirve para hacer análisis general de los impactos y la segunda para alcanzar mas detalle, relacionándose en ellas una lista de actividades del proyecto con las áreas donde pueden haber impactos determinando deficiencias de información y prever en que áreas se presentaron los impactos, estableciendo de esta manera medidas que ayuden a mitigar los efectos ocasionados por las actividades del proyecto de acuerdo a Figueroa *et al.* (1998).

Se utilizan los siguientes criterios para evaluar el posible efecto ambiental: La magnitud, durabilidad, plazo de frecuencia, riesgo, importancia y mitigación.

El procedimiento para usar la matriz es el siguiente:

- Se señala con una marca las actividades que puedan tener lugar durante las etapas del proyecto.
- Se marca las áreas en los factores o componentes ambientales que puedan ser afectados por las actividades indicadas anteriormente.
- En los cuadros donde se haya encontrado interacción, se procede a especificar su naturaleza de acuerdo a los símbolos seleccionados.

## 5 ANTECEDENTES

Se describen algunas investigaciones realizadas a nivel internacional y para Colombia que están relacionadas con este estudio las cuales se presentan a continuación:

BARAJAS (2005). Elaboro un estudio sobre la comparación de diferentes métodos de medición de biomasa microbiana y la actividad en suelos contaminados por metales en México. En el cual concluyeron de acuerdo a los métodos utilizados, fumigación extracción, ATP y sustrato, respiración inducida indicaban que en suelos con concentraciones altas de metales pesados constituyen un porcentaje menor de materia orgánica de suelo total que en suelos con concentraciones bajas de metales.

ACOSTA, Y., PAOLINI., J (2006). En su trabajo sobre dinámica de la biomasa microbiana de (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos, concluyeron que la incorporación de los materiales orgánicos dosis de 1 y 2% al suelo incrementaron el C de biomasa microbiana del mismo.

SÁNCHEZ *et al.* (2006). Realizaron un estudio en el que evaluaron la actividad y biomasa microbiana como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia, tomando tres sistemas un agroecológico, transición y convencional en donde concluyeron que el suelo con manejo agroecológico garantizó un poco más el equilibrio dinámico que permitió la ganancia de C evidenciado en  $q(C)$  y  $q(CO_2)$ , mientras que en el convencional se da lo contrario, con sus consecuencias sobre la materia orgánica, a corto, mediano y largo plazo y por tanto sobre la fertilidad del suelo, la calidad del ambiente y la productividad del agroecosistema de maracuyá.

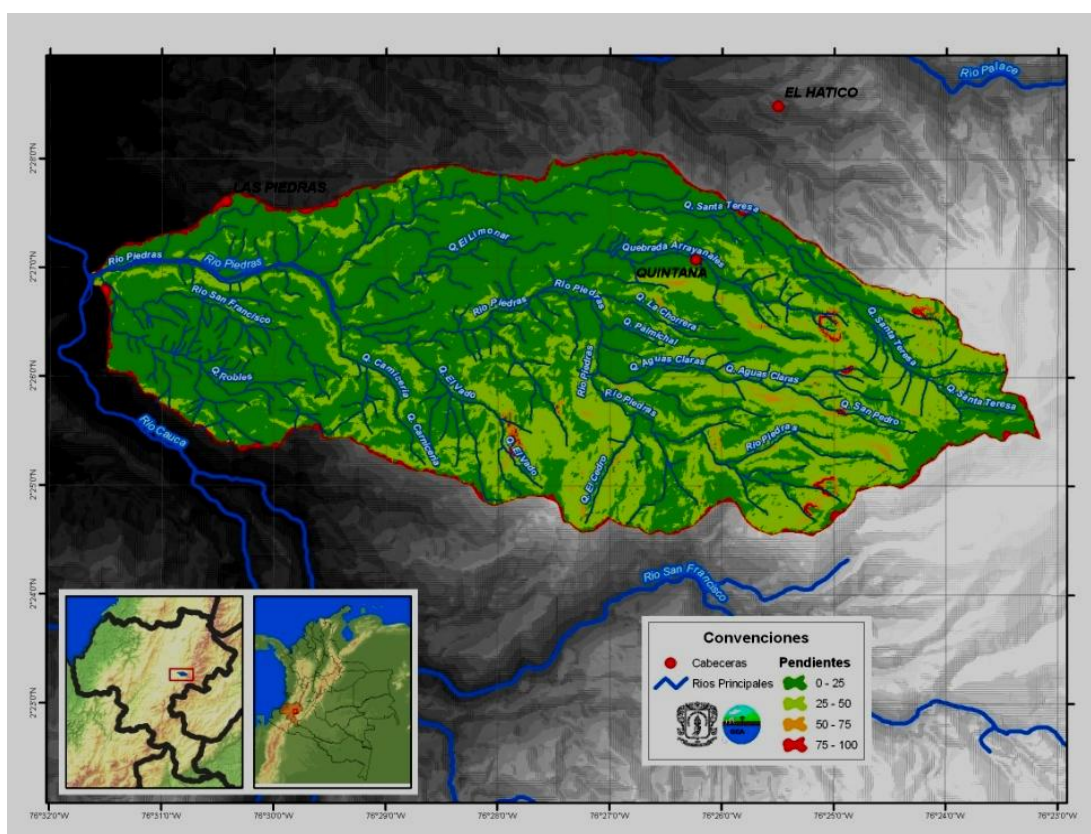
MONTENEGRO (2008). Elaboro un estudio sobre Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (*Zea mays*). Palmira, Valle del Cauca. En los resultados obtenidos, la respuesta de cada suelo fue diferente en la dinámica microbiana y en la acumulación de biomasa de las plantas, indicando que los resultados alcanzados dependen de las características iniciales de cada suelo, tipo de cultivo y manejo del mismo.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del río Las Piedras está ubicada entre los municipios de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad, sobre el flanco occidental de la cordillera Central. Entre las coordenadas 76° 31' 10" al Oeste y 2° 21' 45" de latitud Norte. Hace parte de la cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca (CRC, 2006). La microcuenca se caracteriza por ser abastecedora del acueducto de Popayán.

Figura 2 .Mapa del área de estudio



Fuente: Grupo de Estudios Ambientales. GEA (2011)

#### 6.1.1 Caracterización de los Sistemas de Producción

La economía de la región se basa principalmente en la ganadería extensiva y en la explotación agrícola. En la zona se presentan una serie de cultivos, en su mayoría para el autoconsumo, distribuidos en la parte alta, media y baja de la microcuenca del río Las Piedras. Entre los principales se destacan: maíz, papa, hortalizas, frijol, arracacha, arveja, guineo, plátano, café, yuca, tomate de mesa, caña, mora y aromáticas para ser comercializados, para la producción

pecuaria se tiene ganadería de doble propósito (leche y carne), trucha, curies, conejos, gallinas, pollos de engorde etc (CRC, 2006).

### **6.1.2 Clima**

#### **Clima Frío y Húmedo**

La zona de estudio se encuentra a una altura aproximada de 2.600msnm. Los rangos promedio anual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, tensión de vapor y nubosidad son 18,4°C, 172,9 mm, 84 mm, 123horas, 17,5 M bares, 5.8 horas (CRC, 2006).

## **6.2 MÉTODOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE SUELO**

Inicialmente se identifico la zona de estudio para hacer una caracterización del terreno, teniendo en cuenta el uso del suelo, pendientes, altura, vegetación dominante, presencia de erosión, prácticas agrícolas, estado de cultivo o actividad sobre el terreno y se procedió a la toma de muestras.

De acuerdo al uso del suelo (bosque, cultivo y pastura) se tomaron las muestras delimitando cada unidad de muestreo, teniendo en cuenta que estuvieran bajo la misma pendiente y a una profundidad de 10cm para pastura, 20 cm para cultivo y bosque (una vez eliminada la capa de hojarasca). La toma de las muestras de suelo se realizo de acuerdo a la metodología estandarizada en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca.

Para obtener un valor analítico representativo del volumen del suelo se dividió el terreno en unidades de muestreo seleccionando una de ellas. Para tomar las respectivas muestras, se delimito el área y se cruzo en zig – zag, haciendo sondeos en la capa arable que comprendió alrededor de 0-20 cm de profundidad. Se tomaron 15 submuestras mezclándolas homogéneamente, formando con éstas una muestra compuesta de 1 Kg. La muestra compuesta se llevo al laboratorio e inmediatamente se determinó la humedad de campo y posteriormente se seco al aire por 24 horas. Para su procesamiento se molió, se paso por tamiz de malla número 10 de (2 mm), se homogenizo y se rotularon las muestras para su almacenamiento y posterior análisis. Para la actividad y biomasa microbiana se tomo una porción de suelo en las mismas condiciones en bolsas plásticas y se coloco en refrigeración por 4 días máximo a 3°C para su respectivo análisis.

## **6.3 ESTIMACIÓN DE BIOMASA MICROBIANA - C**

Se realizó por el método de fumigación extracción (Brookes *et al* 1985, Vance *et al* 1987), citados por Montenegro (2008) descrito a continuación:

- Se colocaron en recipientes 20 g de suelo (muestras fumigadas con cloroformo libre de etanol).
- Las muestras de suelo se dejaron en un desecador junto con 2 recipientes: uno con 20 ml de cloroformo libre de etanol, y otro con 20 ml de agua, por espacio de 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente.
- Se succiono el aire hasta percibir olor a cloroformo
- Se colocaron otros 20 g de suelo en otros 3 recipientes (muestras controles- sin fumigar)
- Se agrego 50 ml de  $K_2SO_4$  0,5 M a cada recipiente
- Se agito durante 30 minutos
- Se decanto durante 30 minutos
- Se filtro en papel filtro (Whatman No. 42)
- Por cada muestra se pasaron 8 ml del extracto a un erlenmeyer de 250 ml y se realizo el blanco correspondiente a 8 ml por triplicado del extractante ( $K_2SO_4$  0,5 M)
- Se agregaron 2 ml de  $K_2Cr_2O_7$  0,066 M más 10 ml de  $H_2SO_4$  concentrado más 5 ml de  $H_3PO_4$  concentrado.
- Se colocaron sobre una placa caliente por cinco minutos
- Al enfriar se diluyo en 80 ml de agua
- Se agregaron tres gotas de indicador difenilamina
- Se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,033 N

La biomasa-C microbiana por este método se calculo así:

$$\text{Ecuación 1: } \mu\text{gCgr}^{-1} \text{ suelo} = \frac{(B - L) \times N \times 0,003 \times V_1 \times 10^6}{P \times V_2}$$

Donde: B = lectura en blanco

L = lectura de las muestras

N = normalidad del sulfato ferroso amoniacal

V1 = volumen del extracto

V2 = volumen titulado del extracto

P = peso seco de la muestra

Luego se genera la diferencia entre el contenido de carbono del suelo fumigado y el carbono del suelo no fumigado:

$$\text{Ecuación 2: } \text{BMS} = \frac{\mu\text{gC f} - \mu\text{gCnf}}{0.33}$$

Donde:  $\mu\text{gCf}$  = microgramos de carbono de suelo fumigado

$\mu\text{gCnf}$  = microgramos de carbono de suelo no fumigado

0.33 = Constante



#### 6.4 ACTIVIDAD MICROBIANA – CO<sub>2</sub>

Se realizó por respirometría (C-CO<sub>2</sub>) según el método de CAB (Centro de Agrobiología del Brasil) descrito por Cadena y Madriñan (1998) citados por Montenegro (2008), el cual consta de los siguientes pasos:

- Se pesaron 50 gramos del suelo
- Se midieron 10 ml de NaOH 1N
- Se colocará el suelo y el NaOH por separado en un frasco de 3 litros de capacidad
- Se dejó en incubadora a oscuridad y a 28°C durante 5 días
- Se adicionaron a los 10 ml de NaOH 2 ml de BaCl<sub>2</sub> al 10% más dos gotas de fenolftaleína al 1% en solución alcohólica
- Se tituló con HCl 0,5 N

La cantidad de carbono que envolvió el suelo en forma de CO<sub>2</sub> está en relación con el carbonato de sodio contra el cual se tituló:

**Ecuación 3:**  $AM = \frac{(B - T) N \times 0,006 \times 10^6}{P} = \mu\text{g C. g}^{-1} \text{ Suelo seco}$

Donde: B = Lectura en blanco

T = Titulación

N = Normalidad del ácido clorhídrico

P = Peso del suelo seco.

Con los resultados de actividad (CO<sub>2</sub>) se procedió a determinar el cociente de gasto de carbono q(CO<sub>2</sub>), que relaciona la actividad (C-CO<sub>2</sub>) con la biomasa-C microbiana así:

**Ecuación 4:**  $q(\text{CO}_2) = \frac{\text{Actividad microbiana } (\mu\text{gCg}^{-1} \text{ suelo})}{\text{Biomasa microbiana } (\mu\text{gCg}^{-1} \text{ suelo})}$

#### 6.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

Con el objeto de identificar el tipo de suelo a estudiar, se realizaron análisis físicos y químicos, de acuerdo a la metodología estandarizada por Bravo *et al* en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca; reportada en la última corrección de 2003 como "Manual de prácticas de Química Agrícola: análisis de suelos".

## 6.5.1 Análisis físicos

**6.5.1.1 Humedad:** Se refiere al contenido de agua con relación al peso o volumen de la masa de suelo. Se expresa en forma gravimétrica cuando tiene relación con la masa del suelo y volumétrica cuando se relaciona con el volumen del suelo. Se determinó en este caso por el método gravimétrico que es la relación entre la masa de agua y la masa de los sólidos del suelo. Consiste en pesar la muestra antes y después del calentamiento a 105°C con el objeto de eliminar el agua superficial en una estufa con circulación de aire forzado.

**6.5.1.2 Textura:** Se refiere específicamente a las proporciones de arena, limos y arcillas (partículas menores a 2 mm de diámetro), que se encuentran en una masa de suelo. La textura del suelo es una propiedad física que se emplea como un criterio importante para evaluar otras propiedades como son la capacidad de intercambio catiónico, índices de plasticidad, empleada para la clasificación del suelo entre otras.

Se evaluó la textura por el método de Bouyoucos el cual consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión por medio del hidrómetro.

**6.5.1.3 Densidad Aparente por el método del cilindro:** Consiste en adicionar una cantidad de suelo fresco en un cilindro metálico previamente secado en la estufa y con dimensiones conocidas, por la relación entre la masa del suelo y el volumen del cilindro se determina la densidad aparente. Los cilindros metálicos que se utilizaron para la prueba miden 5 cm de alto por 2.5 cm de radio (Montenegro y Malagon, 1990). Los cálculos se realizaron a partir de las ecuaciones 4 y 5:

**Ecuación 1.** Densidad Aparente.

$$D_a = M_{ss} / V_c$$

**Ecuación 2.** Volumen de un cilindro.

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde:

**D<sub>b</sub>:** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

**M<sub>ss</sub>:** Masa del suelo seco a 105 °C (g).

**V<sub>c</sub>:** Volumen del cilindro donde se toma la muestra de suelo (cm<sup>3</sup>).

## 6.5.2 Análisis químicos

**6.5.2.1 pH:** Se determinó mediante el método potenciométrico, para ello se tomaron 20g de suelo y se le adiciono la cantidad de agua necesaria para formar una pasta saturada; el pH se midió utilizando un pH – metro METROHM E-744<sup>®</sup> con electrodo combinado de vidrio.

**6.5.2.2 Materia orgánica:** Se utilizo el método de Walckley – Black. El cual consiste en oxidar el carbono orgánico presente en el suelo con un oxidante en medio ácido, utilizando como oxidante  $K_2Cr_2O_7$  1 N y como medio, ácido sulfúrico concentrado. En este método la oxidación del carbono orgánico no es total se logra un rendimiento del 77% y por eso se llama carbono orgánico más fácilmente oxidable. El resto sería carbón grafito o carbón vegetal que no es fácilmente oxidable. Como queda materia orgánica que no se oxida y  $K_2Cr_2O_7$  que sobra después de la reacción entonces se valora volumétricamente lo que queda de  $K_2Cr_2O_7$  con una solución de sulfato ferroso amónico, utilizando un blanco que consiste en una solución de  $K_2Cr_2O_7$  1 N con  $H_2SO_4$ .

**6.5.2.3 Determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl:** El método empleado es el utilizado universalmente en la determinación cuantitativa de N procedente de diversos materiales; el equipo de destilación que se utilizo es BÜCHI K-314<sup>®</sup>.

## 6.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para evaluar la influencia que tiene el uso del suelo sobre la actividad y biomasa microbiana y su comportamiento en el tiempo, se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con tres tratamientos consistentes en las tres unidades de muestreo correspondientes a los tres usos del suelo bosque, cultivo y pastura, donde los factores o variables independiente corresponden a tiempo, uso del suelo, y el tiempo en un periodo de 6 meses realizando la evaluación mensual, con tres replicas, para un total de 378 tratamientos. Las variables dependiente fueron % de humedad, densidad aparente, pH, % de C orgánico, materia orgánica, % de nitrógeno, relación C/N, actividad microbiana, biomasa microbiana y cociente metabólico. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 11.5.

## 6.7 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Se utilizaron como indicadores de calidad ambiental las determinaciones de la actividad y biomasa microbiana, así como los análisis físicos y químicos de los suelos. Se realizo una evaluación ambiental de forma rápida y cualitativa de manera comparativa del estado ambiental de cada uso del suelo bosque, cultivo y pastura.

Para la evaluación ambiental se aplicaron los siguientes instrumentos (Muñoz, 2007 y Otero, 2009):

- Lista de chequeo con la que se identificaron las actividades que producen impactos en los ambientes mencionados.
- Matriz de FEARO para la identificación y evaluación cualitativa de los impactos ambientales observados en los tres sistemas.

## 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1 ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS SUELOS

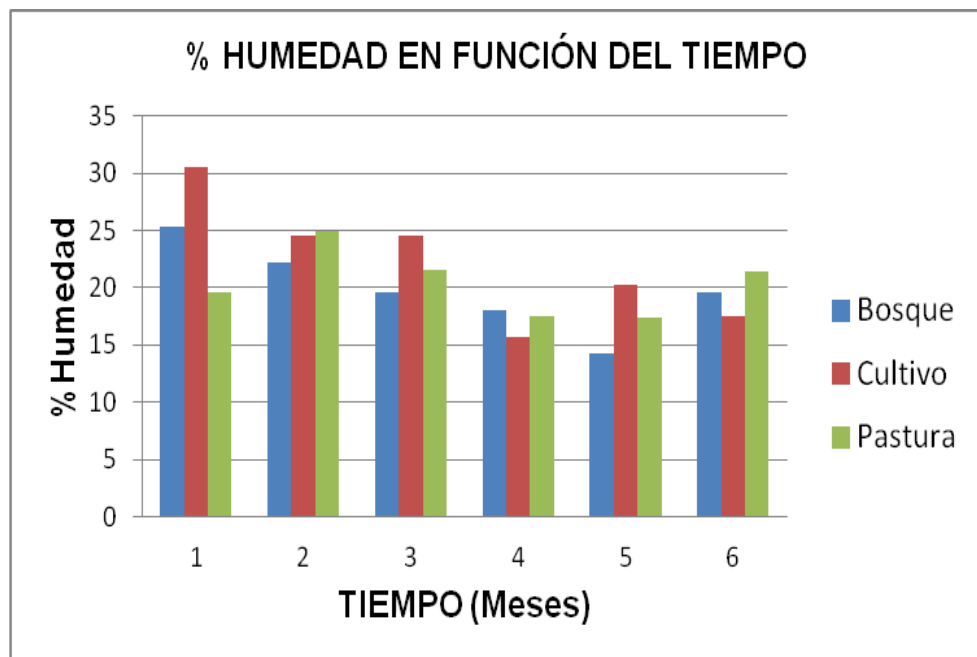
En la tabla 1, figuras 3 y 4. Se presentan los resultados de los análisis físicos realizados a las muestras de suelo empleadas en esta investigación, todos los análisis se realizaron por triplicado. Los suelos estudiados de bosque, cultivo de pasto de corte y pastura correspondientes a la parte alta de la microcuenca del río Las Piedras, se encuentran ubicados en la reserva natural Arrayanales, vereda Quintana, corregimiento Quintana. En forma general se puede deducir que estos suelos presentan un color oscuro, con una humedad higroscópica comprendida entre (30.53% -14.32%) y textura franco arenosa con alto porcentaje de arenas, bajo contenido de arcillas y bajo contenido de limo.

**Tabla 1.** Propiedades físicas de los suelos evaluados.

Propiedades Físicas								
Tiempo	Uso del suelo	Humedad (%)		Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Granulometría (%)			Textura
		Higroscópica	De Campo		Arena	Arcilla	Limo	
1	Bosque	25.36	42.92	0.59	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Cultivo	30.53	50.66	0.54	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
	Pastura	19.63	47.66	0.47	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa
2	Bosque	22.23	42.02	0.67	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Cultivo	24.53	44.25	0.67	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
	Pastura	24.96	45.64	0.59	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa
3	Bosque	19.63	44.32	0.67	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa
	Cultivo	24.59	48.92	0.70	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Pastura	21.59	46.66	0.66	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
	Bosque	17.98	45.46	0.92	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa

4	Cultivo	15.74	49.14	0.94	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Pastura	17.46	46.92	0.90	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
5	Bosque	14.32	42.05	0.62	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Cultivo	20.20	45.46	0.62	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
	Pastura	17.32	44.04	0.60	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa
6	Bosque	19.65	39.93	0.60	81.39	2.75	15.84	Franco arenosa
	Cultivo	17.57	43.78	0.64	74.52	2.56	22.90	Franco arenosa
	Pastura	21.41	41.90	0.59	73.60	8.11	18.27	Franco arenosa

**Figura 3.** Comportamiento de la humedad para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.



La figura 3, muestra que el porcentaje de humedad difiere en función del uso de suelo y en función del tiempo. En el tiempo inicial es mayor en el cultivo,

seguido del suelo de bosque y por último el de pastura, en el siguiente mes se observa una disminución en el bosque y en el cultivo presentándose un incremento en el de pastura, en el tercer mes hay una disminución en el suelo de bosque, en el de pastura y un incremento en el cultivo, en el cuarto mes se presenta una disminución en los diferentes usos, en el quinto mes hay una disminución en el suelo de bosque y un aumento en el cultivo, por último se incrementa en el suelo de bosque y en el de pastura presentándose una disminución en el cultivo. Sin embargo, el análisis estadístico mediante Prueba de ANOVA (Anexo 2, tabla 6) muestra que no existe diferencia significativa entre los porcentajes de humedad considerando como factor independiente el uso del suelo ( $p=0.224$ ) mientras que la prueba de ANOVA (Anexo 2, tabla 7), en función del tiempo muestra que hay diferencias significativas entre los valores de humedad ( $p= 0.000$ ). La prueba de Duncan en función del tiempo, cuyos resultados se reportan en la tabla 2, resalta que en el tiempo 1, 2 y 3 se obtienen valores significativamente superiores a los de 4 y 5, mostrando que hay influencia del tiempo de muestreo en este parámetro y se puede atribuir al efecto de la lluvia presente en los tres primeros tiempos de muestreo.

**Tabla 2.** Prueba de Duncan para el porcentaje de humedad en función del tiempo.

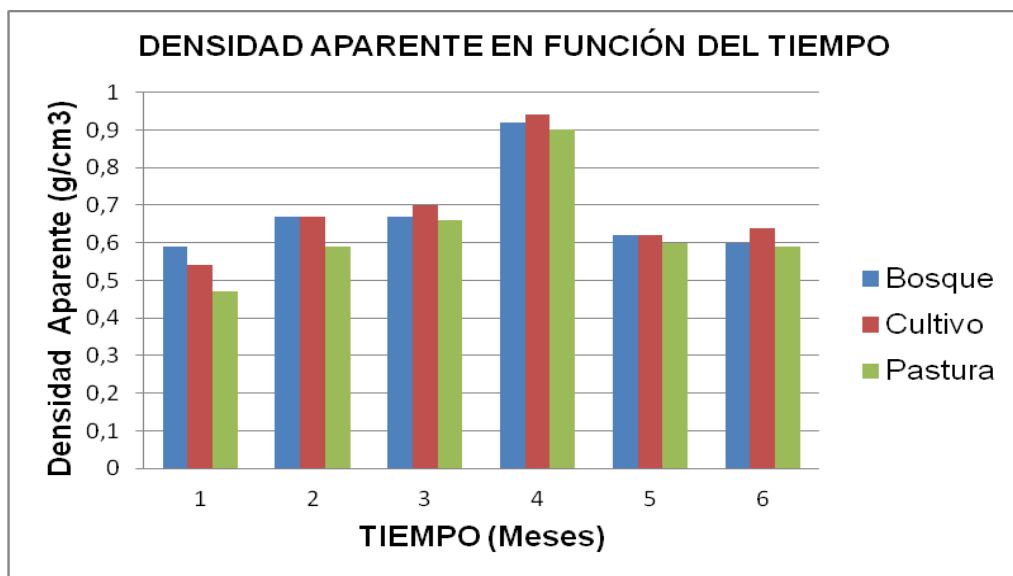
Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05				
		1	2	3	4	5
4	9	16,717244				
5	9	17,285567	17,285567			
6	9		19,548478	19,548478		
3	9			21,609389	21,609389	
2	9				23,923833	23,923833
1	9					25,179733
Sig.		,638	,065	,092	,060	,300

La textura en todas las muestras analizadas es Franco-Arenosa con un contenido bajo en arcillas para suelos de cultivo y de bosque, pero normal en suelos de pastura, demostrando que la retención de humedad se debe principalmente a la materia orgánica. En todos los casos predomina el porcentaje de arena mostrando un alto nivel de erosión en estos suelos con pérdida de la fracción que puede unirse fácilmente a la materia orgánica del suelo (MOS).

En la figura 4, se muestra el comportamiento de la densidad aparente en función del tiempo para cada uso de suelo. En ella se aprecia en forma general

que la densidad aparente es baja en los diferentes usos del suelo, y en todo el tiempo del estudio, atribuyéndose a la MOS ya que como se manifestó anteriormente en la mayoría de los casos el contenido de arcillas es muy bajo. Se denota que el cambio de uso de suelo modifica la densidad aparente del suelo, de tal manera que en la pastura disminuye su valor por el incremento de la MOS. El cultivo logra superar el valor de la densidad aparente con respecto al bosque aún cuando su contenido de materia orgánica (MO) es superior, pero en estos suelos se ha perdido arcillas por efecto de erosión.

**Figura 4.** Comportamiento de la densidad aparente para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.



Sin embargo, la prueba de Kruskal Wallis (Anexo 2, tabla 8) para este parámetro en función del uso de suelo no muestra diferencia significativa ( $p=0,092$ ), indicando que los cambios observados no son significativos. Con respecto al tiempo de estudio en forma general se aprecia un incremento de la densidad aparente corroborado por la prueba de ANOVA (Anexo 2, tabla 7) que si muestra diferencia significativa ( $p=0.000$ ) revelando que hay cambios por influencia de la humedad a medida que transcurre el tiempo de muestreo. La prueba de Duncan para la densidad aparente en función del tiempo muestra que el mayor valor se obtuvo en el tiempo 4 como se reporta en la tabla 3, así la densidad aparente es significativamente superior al tiempo 3, seguido del tiempo 2, sin que hayan diferencias significativas entre ellos, y estos a su vez son significativamente superiores al tiempo 5, 6 y 1; sin presentar diferencias significativas entre ellos. Estas diferencias se pueden atribuir al cambio significativo de humedad en función del tiempo, como se demostró anteriormente, en el tiempo 1 se presentó la mayor humedad y menor densidad.



**Tabla 3.** Prueba de Duncan para la densidad aparente en función del tiempo.

Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
1	9	,540822			
6	9		,616500		
5	9		,616822		
2	9		,650667	,650667	
3	9			,683956	
4	9				,922578
Sig.		1,000	,245	,229	1,000

## 7.2 ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS SUELOS

En la tabla 4, figuras 5, 6, 7,8 y 9. Se reportan los resultados de los parámetros químicos analizados.

**Tabla 4.** Propiedades químicas de los suelos estudiados.

Propiedades químicas						
Tiempo	Uso del suelo	pH	C (%)	MO (%)	N (%)	C/N
1	Bosque	5.11	4.04	6.97	0.74	5.47
	Cultivo	5.20	6.67	11.49	1.10	6.09
	Pastura	5.38	6.71	11.57	0.94	7.1
2	Bosque	5.11	4.50	7.75	0.79	5.69
	Cultivo	5.39	5.13	7.85	0.77	6.66
	Pastura	5.58	6.38	10.99	1.07	5.96

3	Bosque	5.14	7.21	12.47	1.07	6.73
	Cultivo	5.34	9.20	15.85	1.13	8.13
	Pastura	5.47	8.88	15.31	1.25	7.14
4	Bosque	5.24	6.90	11.89	1.06	6.42
	Cultivo	5.45	9.00	15.51	1.07	8.36
	Pastura	5.45	9.03	15.57	1.12	8.13
5	Bosque	5.27	7.86	13.54	0.91	8.68
	Cultivo	5.52	9.13	15.74	0.98	9.32
	Pastura	5.63	9.43	16.25	1.11	8.40
6	Bosque	5.24	7.76	13.37	1.01	7.62
	Cultivo	5.46	8.73	15.04	1.00	8.62
	Pastura	5.61	8.89	15.37	1.14	7.64

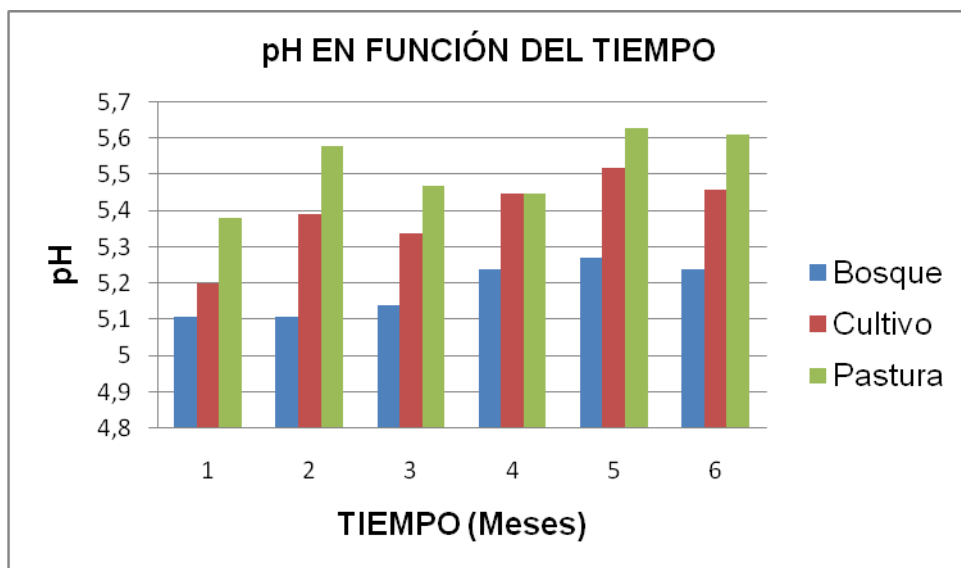
En forma general se aprecia que todos los suelos son fuertemente ácido (valores de pH de 5.0 – 5.46) afectando la disponibilidad de muchos nutrientes para la planta, siendo dicha acidez inferior en suelos de pastura. El porcentaje de nitrógeno total presente en los suelos es alto (>0.5%) (Silva, 2000), a pesar de ello no se puede asegurar su disponibilidad para la planta debido al alto porcentaje de MO presente en todos los suelos. En el bosque el porcentaje de nitrógeno fue menor en relación al cultivo y al de pastura, probablemente por las prácticas realizadas en estos últimos sistemas como la adición de abonos orgánicos (estiércol de ganado) al cultivo y de químicos como urea al de pastura, que aporta un gran porcentaje de nitrógeno al suelo. Sin embargo, la relación C/N es baja en todos los casos indicando una alta mineralización de la MO. Se esperaría que el bosque tuviese mayor MO y mayor relación C/N, pero sucede todo lo contrario, esto se puede atribuir a que la hojarasca presente en estos suelos como se demostrará más adelante tabla 17, no está siendo transformada y se está acumulando en ella la MO pues como se observa su contenido de MO está alrededor del 76% y su relación C/N está alrededor del

19% indicando una muy baja tasa de mineralización por efecto de la sombra de los árboles, o por condiciones no apropiadas para el buen desempeño de los microorganismos allí presentes.

El contenido de MO se clasifica como media para el bosque, en los dos primeros meses, observando un incremento a partir del tercer mes probablemente por el aporte del estiércol de ganado que en ocasiones incursiona a estos suelos dando como resultado un alto nivel (Silva, 2000). En el cultivo ocurrió lo contrario ya que en el primer mes fue alta y en el segundo mes media, pero se incremento a partir del tercer mes clasificándola como alta, a diferencia del de pastura que aunque se incremento algunos meses siempre fue alta.

En la figura 5 se muestra el cambio de pH en función del uso de suelo y del tiempo de evaluación.

**Figura 5.** Comportamiento del pH para los diferentes usos del suelo en función del tiempo.



En la figura 5, se observa que el pH es menor en el suelo de bosque siendo fuertemente ácido, en relación al cultivo y al de pastura y presentando el mismo comportamiento a lo largo de la investigación. El mayor valor de pH lo presenta el suelo de pastura e igualmente su comportamiento es el mismo en función del tiempo. En el cuarto mes se observa igual valor del pH en el cultivo y en pastura. Esta apreciación se puede corroborar con el análisis estadístico mediante la prueba de ANOVA (Anexo 2, tabla 6) en función del uso de suelo mostrando que hay diferencias significativas ( $p=0.015$ ). La prueba de Duncan cuyos resultados se reportan en la tabla 5, muestra que efectivamente el pH del suelo de bosque, es significativamente inferior y el de pastura es

significativamente superior al de los demás usos, mostrando que el cambio de uso de suelo genera incremento en el valor de pH probablemente por efecto de la aplicación de abonos orgánicos preparados con cal.

**Tabla 5.** Prueba de Duncan para el pH en función del uso de suelo.

Uso del suelo	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
Bosque	18	5,1833		
Cultivo	18		5,4050	
Pastura	18			5,5239
Sig.		1,000	1,000	1,000

La prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 2, tabla 7), indica que hay diferencias significativas para el pH en función del tiempo ( $p=0,016$ ), para complementar este análisis se aplicó la prueba U de Mann-Whitney (tabla 6, 7 y 8), mostrando que no existen diferencias significativas en función del tiempo, con excepción del valor del tiempo 1 que es significativamente inferior al de los demás tiempos.

**Tabla 6.** Prueba U de Mann - Whitney para el pH en función del tiempo.

	Tiempo de muestreo 1 2	Tiempo de muestreo 1 3	Tiempo de muestreo 1 4	Tiempo de muestreo 1 5	Tiempo de muestreo 1 6
U de Mann-Whitney	25,000	11,500	,000	11,500	,000
W de Wilcoxon	70,000	56,500	45,000	56,500	45,000
Z	-1,381	-2,574	-3,576	-2,571	-3,584
Sig. asintót. (bilateral)	,167	,010	,000	,010	,000
U de Mann-Whitney	,190(a)	,008(a)	,000(a)	,008(a)	,000(a)

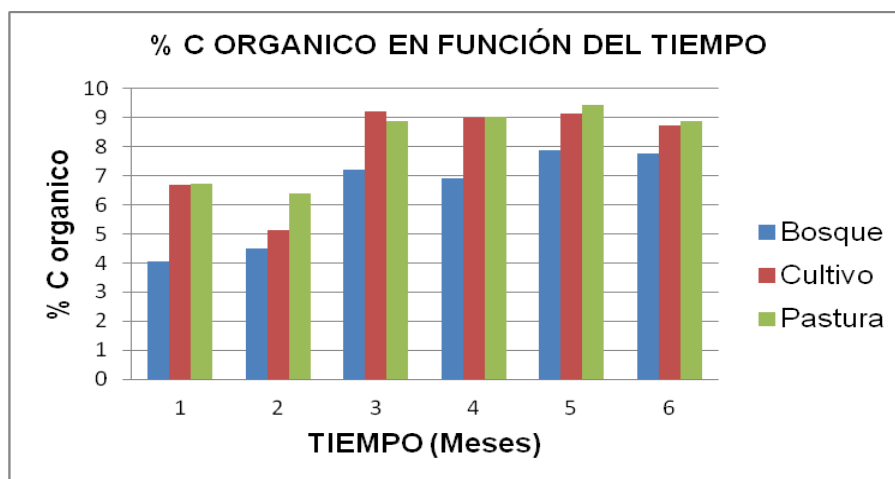
**Tabla 7.** Prueba U de Mann - Whitney para el pH en función del tiempo.

	Tiempo de muestreo 2 3	Tiempo de muestreo 2 4	Tiempo de muestreo 2 5	Tiempo de muestreo 2 6	Tiempo de muestreo 3 4
U de Mann-Whitney	36,000	36,000	21,000	27,000	29,500
W de Wilcoxon	81,000	81,000	66,000	72,000	74,500
Z	-,399	-,399	-1,725	-1,195	-,976
Sig. asintót. (bilateral)	,690	,690	,085	,232	,329
U de Mann-Whitney	,730(a)	,730(a)	,094(a)	,258(a)	,340(a)

**Tabla 8.** Prueba U de Mann - Whitney para el pH en función del tiempo.

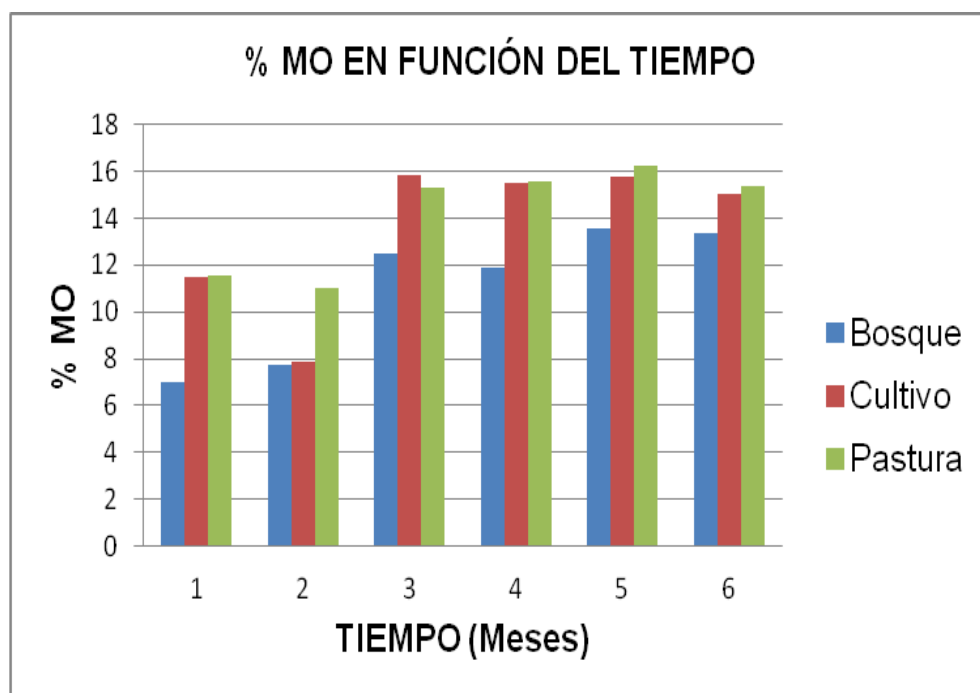
	Tiempo de muestreo 3 5	Tiempo de muestreo 3 6	Tiempo de muestreo 4 5	Tiempo de muestreo 4 6	Tiempo de muestreo 5 6
U de Mann-Whitney	18,500	23,500	20,500	25,500	30,000
W de Wilcoxon	63,500	68,500	65,500	70,500	75,000
Z	-1,950	-1,507	-1,772	-1,331	-,933
Sig. asintót. (bilateral)	,051	,132	,076	,183	,351
U de Mann-Whitney	,050(a)	,136(a)	,077(a)	,190(a)	,387(a)

**Figura 6.** Comportamiento del porcentaje de C orgánico en función del tiempo para los diferentes usos del suelo.



Como se muestra en la figura 6 y 7 el porcentaje de carbono orgánico (CO) y de MO fue menor en el suelo de bosque en todos los meses del experimento, denotándose un incremento apreciable en el cultivo y en el de pastura, entre los cuales no hay diferencias apreciables. Se resalta también de la figura que hubo incremento en los niveles de CO y de MO logrando su estabilización a partir del tercer mes.

**Figura 7.** Comportamiento de la materia orgánica en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.



El análisis estadístico mediante la prueba Kruskal-Wallis (Anexo 2, tabla 8), corrobora la diferencia significativa existente entre los valores de CO y MO de los diferentes usos de suelo con ( $p=0,004$ ). Para saber entre cuáles usos está la diferencia se aplica la prueba U de Mann-Whitney relacionada en la tabla 9 y 10. En ellas se aprecia que hay diferencias significativas en los contenidos de CO y de MO del bosque con el cultivo y con pastura, siendo inferior en el bosque, pero no existen diferencias significativas entre el cultivo y el suelo de pastura. Este hecho se explica porque en cultivo y pastura hay aporte exógeno de MO ya sea proveniente de abonos orgánicos o de las deyecciones del ganado. Además en el bosque la capa de hojarasca es altamente espesa indicando falta de mineralización como se demuestra por el contenido de C presente en ella que es aproximadamente del 43% con una relación C/N también alta del 17% (tabla 17).

**Tabla 9.** Prueba U de Mann-Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del uso de suelo.

	Bosque cultivo	Bosque Pastura	Cultivo pastura
U de Mann-Whitney	72,000	91,000	154,000
W de Wilcoxon	243,000	262,000	325,000
Z	-2,849	-2,246	-,253
Sig. asintót. (bilateral)	,004	,025	,800
U de Mann-Whitney	,004(a)	,024(a)	,815(a)

**Tabla 10.** Prueba U de Mann-Whitney para el porcentaje de materia orgánica en función del uso de suelo.

	Bosque cultivo	Bosque Pastura	Cultivo pastura
U de Mann-Whitney	72,000	91,000	154,000
W de Wilcoxon	243,000	262,000	325,000
Z	-2,849	-2,246	-,253
Sig. asintót. (bilateral)	,004	,025	,800
U de Mann-Whitney	,004(a)	,024(a)	,815(a)

En función del tiempo la prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 2, tabla 8), muestra que también existe diferencia significativa entre los contenidos de CO y de MO para los diferentes usos de suelo ( $p=,000$ ). La prueba U de Mann-Whitney (tabla 11 y 12) muestra que hay diferencias significativas para el tiempo 1 con respecto al de los demás tiempos, siendo menor el contenido de C orgánico y de MO.

**Tabla 11.** Prueba U de Mann-Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del tiempo.

	Tiempo de muestreo 1 2	Tiempo de muestreo 1 3	Tiempo de muestreo 1 4	Tiempo de muestreo 1 5	Tiempo de muestreo 1 6
U de Mann-Whitney	27,000	,000	,000	,000	,000
W de Wilcoxon	72,000	45,000	45,000	45,000	45,000
Z	-1,192	-3,585	-3,576	-3,576	-3,585
Sig. asintót. (bilateral)	,233	,000	,000	,000	,000
U de Mann-Whitney	,258(a)	,000(a)	,000(a)	,000(a)	,000(a)

**Tabla 12.** Prueba U de Mann-Whitney para el porcentaje de C orgánico en función del tiempo.

	Tiempo de muestreo 3 4	Tiempo de muestreo 3 5	Tiempo de muestreo 3 6	Tiempo de muestreo 4 5	Tiempo de muestreo 4 6	Tiempo de muestreo 5 6
U de Mann-Whitney	36,000	24,000	35,000	23,000	35,000	19,000
W de Wilcoxon	81,000	69,000	80,000	68,000	80,000	64,000
Z	-,399	-1,461	-,488	-1,545	-,487	-1,906
Sig. asintót. (bilateral)	,690	,144	,625	,122	,626	,057
U de Mann-Whitney	,730(a)	,161(a)	,666(a)	,136(a)	,666(a)	,063(a)

La prueba estadística en función del tiempo muestra que los contenidos de CO y de MO correspondientes a los tiempos 1 y 2, son significativamente inferiores al resto de los tiempos evaluados entre los cuales no existe diferencia significativa. Este comportamiento no era el esperado puesto que como se ha demostrado en trabajos anteriores (Hoyos, 2010) la MOS no presenta cambios en corto tiempo, esto se puede atribuir al efecto del aporte del estiércol de ganado (figura 8) que como se observó en algunas de las visitas realizadas en ocasiones se entraba al bosque.



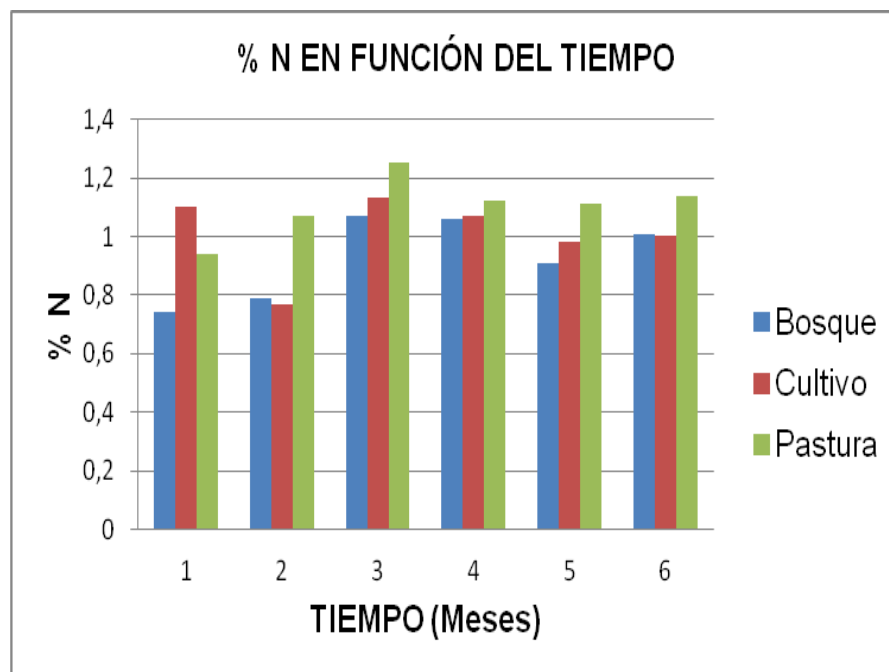
**Figura 8.** Aporte de materia orgánica por parte del ganado en el bosque.



Fuente: Autor (2011)

En la figura 9 se presenta el comportamiento del N para los diferentes usos de suelo en función del tiempo de evaluación

**Figura 9.** Comportamiento del porcentaje de nitrógeno en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.



En la figura 9, se aprecia que el porcentaje de N es alto en todos los usos de suelo como se manifestó anteriormente, siendo menor en el suelo de bosque y mayor en el de pastura. Se observan leves incrementos en función del tiempo, pero en general no hay un comportamiento uniforme para los tres usos de suelo.

El análisis estadístico realizado mediante la prueba de Kruskal Wallis ( $p=0,000$ ) (Anexo 2, tabla 8), muestra diferencia significativa entre los contenidos de N de los diferentes usos de suelo. Para saber entre cuáles está la diferencia se aplicó la prueba U de Mann-Whitney cuyos resultados se revelan en la tabla 13, muestra que hay diferencias significativas para los tres usos de suelo, así el bosque difiere significativamente del cultivo y del suelo de pastura y el cultivo presenta diferencias significativas con el suelo de pastura. La diferencia se puede atribuir probablemente por el aporte de N a los suelos de pastura y cultivo proveniente de urea aplicada por los agricultores como lo expresan en forma verbal.

**Tabla 13.** Prueba U de Mann-Whitney para el porcentaje de nitrógeno en función del uso del suelo.

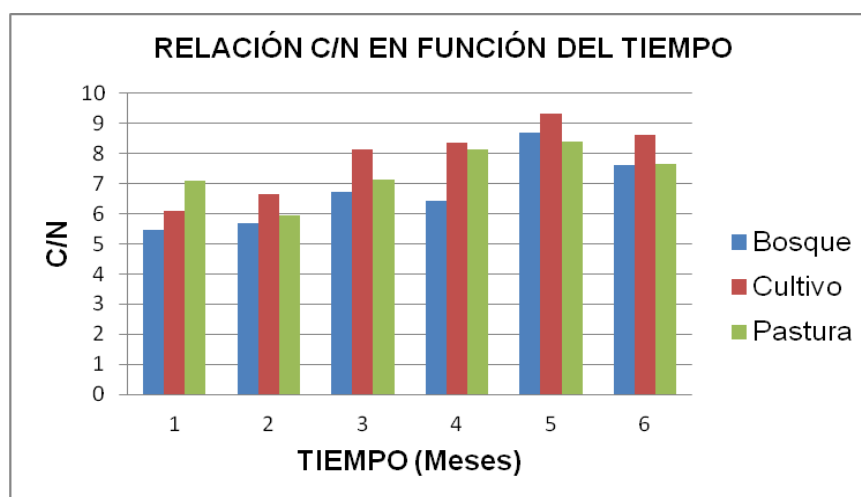
	Bosque cultivo	Bosque Pastura	Cultivo pastura
U de Mann-Whitney	96,000	33,500	86,000
W de Wilcoxon	267,000	204,500	257,000
Z	-2,093	-4,074	-2,413
Sig. asintót. (bilateral)	,036	,000	,016
U de Mann-Whitney	,037(a)	,000(a)	,016(a)

El ANOVA (Anexo 2, tabla 7), muestra que hay diferencias significativas para el porcentaje de N en función del tiempo ( $p=0.000$ ). La prueba de Duncan cuyos resultados se reportan en la tabla 14, no muestra grandes diferencias, se resalta que el porcentaje de N del tiempo 1 y 2 es significativamente inferior al de los tiempos 3, 4 y 6 entre los cuales no existe diferencia significativa, en donde probablemente hubo rotación de ganado o aplicación de urea.

**Tabla 14.** Prueba de Duncan para el porcentaje de Nitrógeno en función del tiempo.

Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
2	9	,8822			
1	9	,9244	,9244		
5	9		1,0033	1,0033	
6	9			1,0556	1,0556
4	9			1,0900	1,0900
3	9				1,1544
Sig.		,398	,117	,104	,064

**Figura 10.** Comportamiento de la relación C/N para los diferentes usos de suelo en función del tiempo.



La figura 10, muestra en forma general que la relación C/N es baja en los suelos de los tres usos a lo largo de todo el tiempo de la investigación indicando una alta mineralización. Además el suelo de bosque presenta relación C/N más baja que pastura y ésta a su vez que cultivo en todo el tiempo del experimento, como se explicó anteriormente el bosque presenta menor contenido de MO, porque la hojarasca que cubre su suelo no ha sido suficientemente mineralizada, permaneciendo en función de mucho tiempo. La baja relación C/N significa un proceso alto de mineralización, provocado probablemente por las prácticas agronómicas allí efectuadas, implicando a corto plazo una pérdida potencial de la MOS y posible proceso de erosión, como se puede percibir del alto porcentaje de arena y pérdida de las fracciones activas de estos suelos, dando como consecuencia bajo porcentaje de arcillas. Se denota un leve incremento de esta relación en función del tiempo.

El análisis estadístico mediante la prueba ANOVA (Anexo 2, tabla 7) muestra que hay diferencias significativas para la relación C/N en función del tiempo ( $p=0.000$ ). La prueba de Duncan como se observa en la siguiente tabla 15, muestra que el mayor valor se obtuvo en los tiempos 5 y 6, sin presentar diferencias significativas entre ellos y a su vez ambos son significativamente superiores a la relación de los tiempos 4 y 3, siendo significativamente superiores al tiempo 1 y 2, quienes presentaron el menor valor para la relación C/N; sin que haya diferencias significativas entre ellos. Igualmente este hecho se atribuye nuevamente a la rotación del ganado y al aporte exógeno de N a estos suelos y no a cambios en el proceso de mineralización.

**Tabla 15.** Prueba de Duncan para la relación C/N en función del tiempo.

Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
2	9	6,0945		
1	9	6,2237		
3	9		7,3063	
4	9		7,6350	
6	9			8,3104
5	9			8,8177
Sig.		,671	,283	,100

La prueba estadística ANOVA (Anexo 2, tabla 6), muestra que existen diferencias significativas ( $p=0.000$ ) para la relación C/N en función del uso de suelo. La prueba de Duncan relacionada en la tabla 16, muestra que la relación C/N del bosque es significativamente inferior al de cultivo y pastura, entre los cuales no existe diferencia significativa.

**Tabla 16.** Prueba de Duncan para la relación C/N en función del uso del suelo.

Uso del suelo	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
Bosque	18	6,7806	
Pastura	18		7,5480
Cultivo	18		7,8653
Sig.		1,000	,394

Indicando pérdida de MO en suelos de bosque, pero atribuida a la falta de mineralización de su hojarasca como se muestra en la tabla 17, mientras que el suelo de pastura y el de cultivo son significativamente superiores, pero con relaciones también muy bajas con fuerte mineralización y pérdida de MO, sin existir protección de la cobertura vegetal arbórea en estos suelos en donde hay mas entrada de luz y su MO es altamente mineralizada, por lo tanto en estos suelos el peligro de erosión es inminente.

**Tabla 17.** Análisis de algunas propiedades químicas de la hojarasca presente en el bosque.

Tiempo	% C	%MO	%N	Relación C/N
1	43.35	74.73	2.41	17.98
2	43.35	74.73	2.41	17.98
3	43.35	74.73	2.41	17.98
4	43.35	74.73	2.41	17.98
5	43.35	74.73	2.41	17.98
6	43.87	75.76	2.21	19.83

### 7.3 VALORACIÓN DEL C DE BIOMASA MICROBIANA

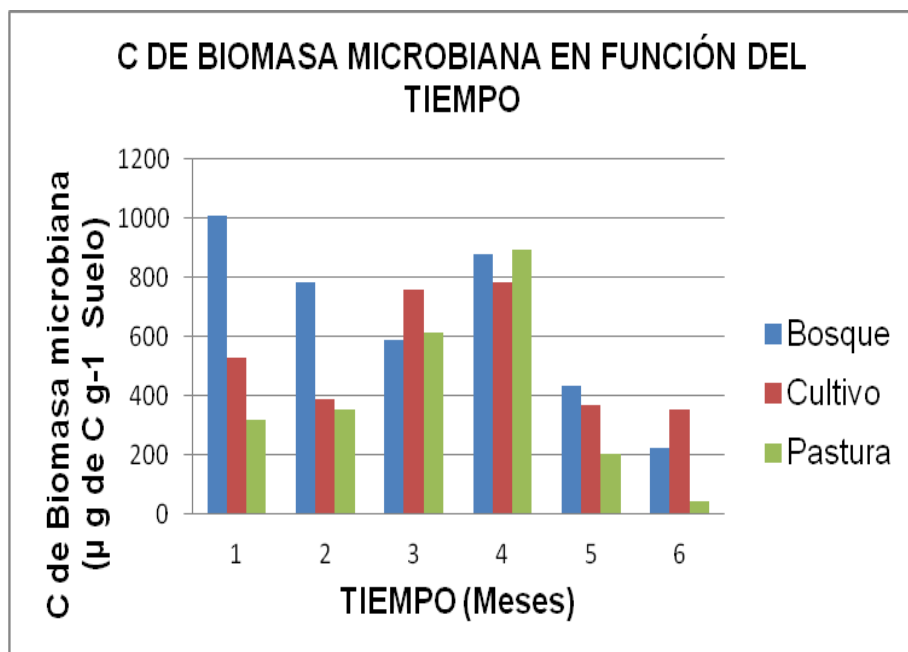
En la tabla 18 y figura 10. Se presentan los resultados del C de biomasa microbiana por el método fumigación-extracción, en ella se reportan los  $\mu\text{g}$  de C/g. Suelo seco, evaluados en los diferentes usos de suelo: bosque, cultivo de pasto de corte y pastura.

**Tabla 18.** Comportamiento del C de la biomasa microbiana en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.

Tiempo	Uso de suelo	Biomasa Microbiana ( $\mu\text{g}$ de C/g suelo)
1	Bosque	1005,33
	Cultivo	528,60
	Pastura	318,91
2	Bosque	783,71
	Cultivo	385,18
	Pastura	351,98

3	Bosque	586,91
	Cultivo	756,17
	Pastura	610,11
4	Bosque	877,83
	Cultivo	783,93
	Pastura	893,26
5	Bosque	434,02
	Cultivo	365,23
	Pastura	202,49
6	Bosque	221,68
	Cultivo	353,16
	Pastura	43,00

**Figura 11.** Comportamiento del C de biomasa microbiana en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.



En la tabla 18 y figura 11, se observa en forma general que el C de biomasa microbiana es superior en el bosque y la más baja corresponde al suelo de

pastura, mostrando la bondad del bosque sobre las propiedades biológicas del suelo, debido a su cobertura vegetal que protege a los microorganismos del suelo de los efectos directos del sol y de las altas temperaturas provocadas por el calentamiento global. La baja cantidad de carbono de biomasa microbiana del suelo de pastura se podría atribuir a la compactación del suelo causada por el pisoteo del ganado, impidiendo un adecuado proceso de aireación y por lo tanto un ambiente no adecuado para el normal desarrollo de sus microorganismos.

Los valores bajos del C de biomasa microbiana pueden ser ocasionados por estrés o perturbación (aumento de temperatura) y estos factores pueden inducir a un incremento en el cociente metabólico ( $qCO_2$ ) según Wardle y Ghani, (1995) citados por Xingkai *et al.* (2006). La tendencia a la disminución en el cultivo en los últimos dos meses probablemente estén relacionados con la etapa del mismo y su efecto rizosférico como lo reporta Montenegro (2008), sin embargo carrillo (2003) sostiene que la microbiota es modificada por la estimulación, en algunos casos inhibición, debida a los exudados radicales, teniendo en cuenta que cada planta induce un efecto rizosférico característico.

El comportamiento del C de biomasa microbiana a lo largo de la investigación muy posiblemente se debe a que cada suelo presenta una cobertura vegetal diferente ya que de acuerdo a otros estudios realizados según Dickinson y Pugh (1974), Swift *et al.* (1979) citados por Xingkai *et al.* (2006), las especies de árboles tienen un impacto en la fertilidad y en la estructura de la comunidad microbiana, es decir que al haber una gran heterogeneidad en el bosque, mayor cantidad de especies arbóreas pudo influir en el comportamiento del C de biomasa microbiana en algunos meses del experimento en donde la cantidad de C de biomasa microbiana fue menor ya que en el suelo de pastura y en el de cultivo no presenta gran variabilidad de especies.

Para corroborar esta información se realizó una caracterización de la vegetación dominante presente en los tres usos de suelo (Anexo 3, tabla 12).

El análisis estadístico aplicado mediante la prueba de Kruskal- Wallis ( $p=0,043$ ) en función del uso de suelo (Anexo 2, tabla 6), muestra que hay diferencias significativas en la cantidad de C de biomasa microbiana para los diferentes usos de suelo. Para saber entre cuáles usos está la diferencia se aplicó la prueba U de Mann-Whitney tabla 19, la cual muestra que hay diferencias significativas para el bosque y el suelo de pastura, pero no hay diferencia significativa para el bosque con el cultivo al igual que para el cultivo con el suelo de pastura.

**Tabla 19.** Prueba U de Mann-Whitney para el C de biomasa microbiana en función del uso de suelo.

	Bosque cultivo	Bosque Pastura	Cultivo pastura
U de Mann-Whitney	115,000	91,000	114,000
W de Wilcoxon	286,000	262,000	285,000
Z	-1,487	-2,246	-1,519
Sig. asintót. (bilateral)	,137	,025	,129
U de Mann-Whitney	,143(a)	,024(a)	,134(a)

En forma general se puede apreciar que la biomasa microbiana disminuye en función del tiempo sobre todo para el suelo de bosque, atribuible al cambio de las condiciones del estado del tiempo, como se menciono anteriormente el aumento de la temperatura (tabla 20), puede ocasionar un bajo contenido de biomasa microbiana por perturbación como se presento en el segundo y quinto mes del experimento en donde hubo una disminución en la biomasa microbiana e incremento de la temperatura.

**Tabla 20.** Variables ambientales

Tiempo	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa	Precipitación (mm)
1	15	70	193
2	16	86	471
3	14	82	363
5	16	80	31
6	14	85	84

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán (2011).

La prueba estadística ANOVA (Anexo 2, tabla 7), muestra que hay diferencias significativas ( $p=0.000$ ) para los diferentes usos de suelo en función del tiempo del experimento. Corroborando estos resultados con la prueba de Duncan la tabla 21, revela que los tiempos 4,3 y 1 son significativamente superiores a los tiempos 5 y 6, indicando que el tiempo de muestreo influyo en la cantidad del C de biomasa microbiana, debido al estado del tiempo, que influye en la humedad



del suelo disminuyéndola significativamente y por ende afectando su actividad microbiana.

**Tabla 21.** Prueba de Duncan para el C de biomasa microbiana en función del tiempo.

Tiempo Muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
6	9	210,7404			
5	9	334,9510			
2	9		507,0059		
1	9		617,6167	617,6167	
3	9			714,0918	714,0918
4	9				872,5224
Sig.		,134	,181	,243	,058

#### 7.4 ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA

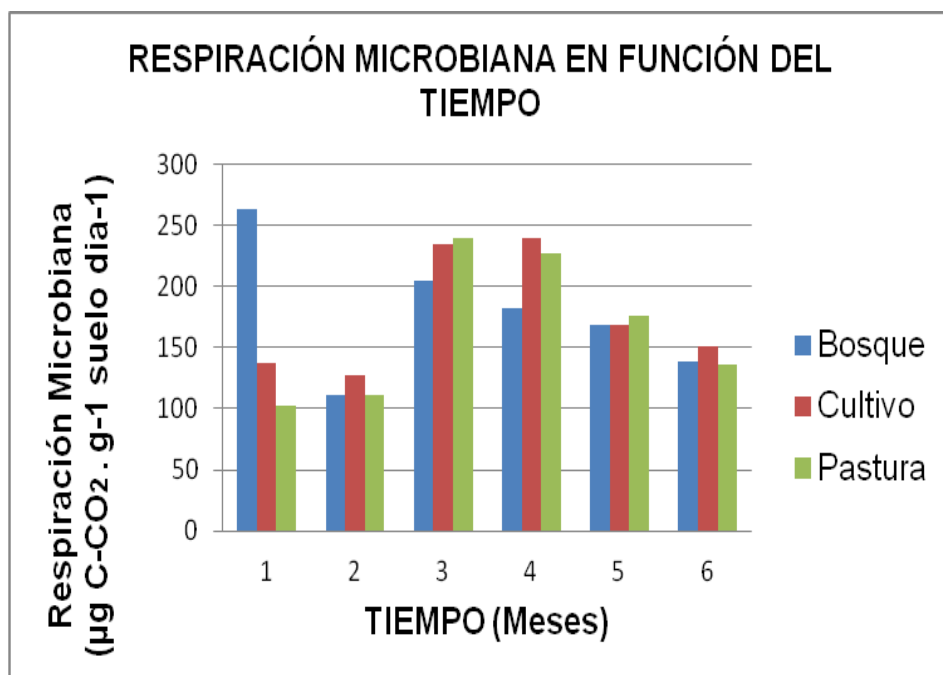
En la tabla 22 y figura 11. Se muestran los resultados de la actividad microbiana en forma de respiración por el método de respirometría, en ella se reportan los  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2$ .  $\text{g}^{-1}$  suelo.  $\text{día}^{-1}$ , para los tres usos del suelo.

**Tabla 22.** Comportamiento de la actividad microbiana en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.

Tiempo	Uso de suelo	Actividad Microbiana ( $\mu\text{g}$ de $\text{C-CO}_2$ / g suelo día)
1	Bosque	263,51
	Cultivo	136,92
	Pastura	102,00
2	Bosque	111,71
	Cultivo	127,74
	Pastura	110,54

3	Bosque	204,81
	Cultivo	234,43
	Pastura	239,34
4	Bosque	182,41
	Cultivo	239,28
	Pastura	227,40
5	Bosque	168,02
	Cultivo	168,17
	Pastura	175,59
6	Bosque	138,27
	Cultivo	150,91
	Pastura	135,77

**Figura 12.** Comportamiento de la actividad microbiana en función del tiempo para los diferentes usos del suelo.



Los resultados muestran en forma general que el bosque presenta menor respiración microbiana con excepción del primer tiempo de muestreo. La mayor actividad microbiana se presenta en el suelo de cultivo y de pastura pero no se observan diferencias apreciables. Sin embargo, la prueba ANOVA (Anexo 2, tabla 6), muestra que no existen diferencias significativas para la actividad microbiana ( $p=0,609$ ) en función del uso de suelo. Esto no concuerda con otros estudios en donde han encontrado que el uso del suelo sí influye sobre la actividad microbiana.

El comportamiento de la actividad microbiana es bajo en la mayoría de los meses del experimento para el suelo de bosque, estos resultados están muy relacionados con el pH el cual fue menor en el bosque ya que a valores bajos de pH la actividad biológica se relentiza y en consecuencia disminuye el ritmo de transformación y mineralización de la MO, como lo afirma Labrador (1996) citado por Montenegro (2008).

Uno de los factores por el cual la actividad microbiana fue mayor en el suelo de cultivo esta muy relacionado con la utilización de abonos orgánicos mezclados con cal como lo reportan Volkweiss y Tedesco (1984) en donde han encontrado que el encalado al incrementar el pH y precipitar el  $Al^{+3}$  característicos de suelos ácidos, promueve el incremento de la biomasa microbiana. Así mismo, la aplicación de la urea como fertilización nitrogenada también favorece la disponibilidad de fuente nitrogenada, factor que promueve la actividad microbiana (Ramos y Zúñiga, 2008) por lo cual el incremento de esta en el suelo de pastura.

Como se mencionó anteriormente la mayor actividad respiratoria se registró en el cultivo y en el suelo de pastura, esto puede deberse al alto contenido de materia orgánica como lo reporta Montenegro (2008) ya que los microorganismos utilizan los compuestos orgánicos para obtener energía y nutrientes para su crecimiento y desarrollo.

El incremento de la actividad microbiana en el suelo de pastura en algunos meses del experimento, probablemente se debió a la utilización de químicos como la urea, lo cual concuerda con otros estudios en donde mencionan que la adición de nitrógeno en forma de urea ha demostrado un aumento en la respiración microbiana como lo reporta Thirukkumaran (2000).

Otro factor a tener en cuenta es la temperatura ambiente y la humedad ya que la actividad microbiana se ve afectada. Contrario al contenido de C de biomasa microbiana, la actividad respiratoria se incrementa en épocas de lluvias intensas y altas temperaturas como lo reportan Rigobelo y Nahas (2004) citados por Montenegro (2008) en suelos de Jaboticabal-Brasil.

En función del tiempo el bosque disminuye considerablemente su respiración mientras que en cultivo y pastura incrementa. La prueba de ANOVA (Anexo 2,

tabla 7), revela que hay diferencias significativas ( $p=0.000$ ) para la respiración microbiana, estos resultados se pueden evidenciar con la prueba estadística de Duncan tabla 23, en donde muestra que en función del tiempo la mayor actividad se presentó en los meses 3 y 4 siendo significativamente superior a los tiempos 5,1 y 6 sin que haya diferencias significativas entre ellos, presentándose una menor actividad de los microorganismos en el tiempo 2.

**Tabla 23.** Prueba de Duncan para la actividad microbiana en función del tiempo.

Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
2	9	105,8042		
6	9		141,6513	
1	9		167,4824	
5	9		170,5950	
4	9			217,4990
3	9			226,1960
Sig.		1,000	,106	,603

Al relacionar estos resultados con la humedad y compararlos con otros estudios realizados en laboratorio, permiten apreciar que a un porcentaje de humedad más alto favorece la actividad de los microorganismos en el suelo, por otro lado se puede evidenciar que a porcentajes bajos de humedad la actividad microbiana es menor. Cabe resaltar que el mayor porcentaje de humedad con el que ellos trabajaron fue del 18% de acuerdo a Ramos y Zúñiga (2008). Contrario a los resultados encontrados en esta investigación ya que la actividad respiratoria fue menor en los tiempos donde se registraron altos porcentajes de humedad y mayor en los tiempos de menor porcentaje de humedad.

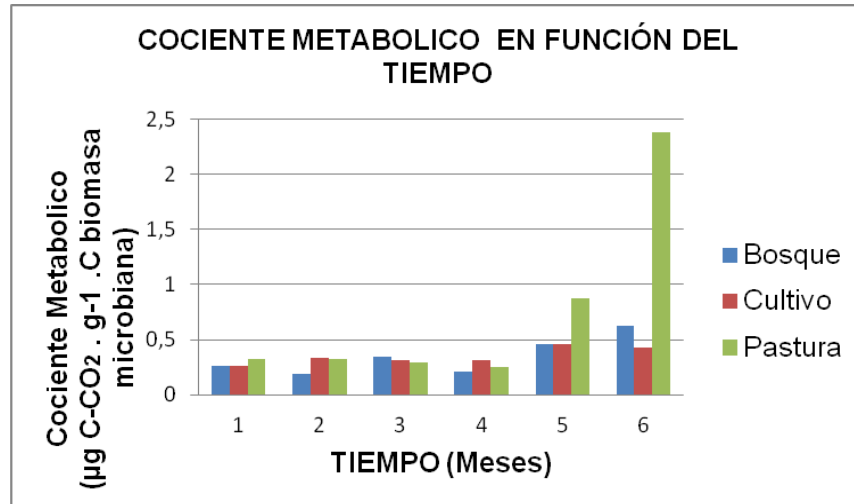
## 7.5 COCIENTE METABOLICO $q(\text{CO}_2)$

El cociente metabólico es considerado un índice para la evaluación de la eficiencia de la comunidad de microorganismos del suelo para la utilización de sustratos (Insam, 1990). En la tabla 24 y figura 13. Se muestran los resultados del cociente metabólico que relaciona la actividad microbiana con la biomasa microbiana, en ella se reportan los  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{suelo} \cdot \text{día}^{-1}$ , encontrados en los tres usos de suelo.

**Tabla 24.** Comportamiento del cociente metabólico en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.

Tiempo	Uso de suelo	Cociente metabólico $q(\text{CO}_2)$ ( $\mu\text{gC-CO}_2\text{g}^{-1}\text{suelo}$ )
1	Bosque	0,26
	Cultivo	0,26
	Pastura	0,32
2	Bosque	0,19
	Cultivo	0,33
	Pastura	0,32
3	Bosque	0,35
	Cultivo	0,31
	Pastura	0,29
4	Bosque	0,21
	Cultivo	0,31
	Pastura	0,25
5	Bosque	0,46
	Cultivo	0,46
	Pastura	0,87
6	Bosque	0,63
	Cultivo	0,43
	Pastura	2,38

**Figura 13.** Comportamiento del cociente metabólico en función del tiempo para los diferentes usos de suelo.



Como se muestra en la figura 13, de manera general el cociente metabólico es bajo para los tres usos de suelo en la mayoría de los tiempos de la investigación, observando un aumento en los dos últimos meses del experimento siendo muy marcado el incremento del cociente metabólico en el tiempo 6 para el suelo de pastura resultante de la disminución del C de biomasa microbiana y de la actividad microbiana. Esto se puede comparar con el estudio realizado por Montenegro (2008), en donde menciona que valores mayores a 1 indica un desbalance sufrido por la comunidad microbiana ocasionado por disturbios ambientales.

De igual manera otros autores encontraron que el alto valor en el cociente metabólico refleja una disminución de la eficiencia de la utilización de sustancias del suelo por parte de la comunidad microbiana (Xingkai, *et al.*, 2006).

El aumento del cociente metabólico ( $qCO_2$ ) es probable que se deba también a la ineficiencia de carbono microbiano en el suelo ocasionado por el estrés (la acidez) y por las perturbaciones (temperatura) y estos dos factores pueden inducir el aumento del  $qCO_2$ : Así mismo Wardle y Ghani (1995) en estudios previos han encontrado que el cociente metabólico disminuye con la creciente cantidad de biomasa microbiana.

La prueba estadística ANOVA (Anexo 2, tabla 7), muestra que hay diferencias significativas ( $p=0.000$ ) en función del tiempo para el cociente metabólico, corroborando estos resultados con la prueba de Duncan tabla 25, que revela que el mayor valor en el cociente metabólico se obtuvo en el tiempo 6 del experimento, siendo significativamente superior a los demás tiempos (5, 3, 2, 1 y 4) pero sin presentar diferencias significativas entre ellos.

**Tabla 24.** Prueba de Duncan para el cociente metabólico en función del tiempo.

Tiempo de muestreo	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
4	9	,2578	
1	9	,2789	
2	9	,2811	
3	9	,3200	
5	9	,5978	
6	9		1,1422
Sig.		,110	1,000

Prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 2, tabla 8) muestra que en función del uso de suelo no existen diferencias significativas ( $p=0,373$ ) para el cociente metabólico en los diferentes usos.

## 8 EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES VARIABLES ANALIZADAS

Para los datos que se ajustan a la normalidad se aplica la prueba de correlación de Pearson y para los que no se ajustan se aplica la prueba de correlación de Spearman.

De acuerdo a la Prueba de Pearson (Anexo 2, tabla 10), el pH correlaciona positiva y altamente significativa (Coef. 0,810\*\*) con el uso de suelo corroborando la afirmación anterior en el sentido de que existe aplicación de enmiendas en pastura y en cultivo que afectan significativamente la reacción del suelo. También se observa una correlación positiva y significativa (Coef. 0.268), entre la relación C/N y el uso del suelo debido al aporte exógeno de MO en los suelos cambiados de uso con respecto al bosque.

La humedad correlaciona negativa y altamente significativa (Coef.-0,627\*\*) con la relación C/N indicando la importancia de la humedad para la actividad de los microorganismos y el debido proceso de mineralización.

La correlación del pH con la relación C/N es positiva y altamente significativa (Coef. 0,601\*\*) mostrando el marcado efecto del pH nuevamente sobre la actividad microbiana y por ende sobre el proceso de mineralización.

La humedad y biomasa microbiana correlacionan de forma negativa y altamente significativa con el tiempo (Coef. -0.651\*\*; Coef -0.422\*\* respectivamente) por efecto de disminución de la precipitación pluvial en los dos últimos meses que afecta la actividad microbiana.

La relación C/N al igual que la biomasa microbiana correlacionan en forma positiva y altamente significativa (Coef. 0,791\*\*; Coef. 0,518\*\* respectivamente)

con el tiempo, Además, el nitrógeno correlaciona en forma positiva y significativa (Coef. 0,342\*) con el tiempo. Como resultado del efecto de la aplicación de abonos fuentes de MO y de N.

La correlación de la relación C/N con la biomasa microbiana es negativa y altamente significativa (Coef.- 0,408\*\*) y positiva y altamente significativa (Coef.- 0,402\*\*) con el cociente metabólico, mostrando que a mayor actividad microbiana mayor será la mineralización y por tanto menor será la relación C/N.

La biomasa microbiana correlaciona en forma positiva y altamente significativa (Coef. 0,680\*\*) con la actividad microbiana, pero en forma negativa y altamente significativa (Coef. -0,606\*\*) con el cociente metabólico como era de esperarse.

La prueba estadística Rho de Spearman (Anexo 2, tabla 11), muestra que el uso de suelo presenta correlación positiva y altamente significativa (Coef. 0,405\*\*; Coef. 0,405\*\* y Coef. 0,582\*\*) con el porcentaje de C orgánico, materia orgánica y nitrógeno respectivamente, es decir estos parámetros se incrementan significativamente con el cambio de uso del suelo, mostrando el efecto de las prácticas agronómicas allí realizadas.

La biomasa microbiana correlaciona positiva y altamente significativa Coef. 0,527\*\*) con la densidad aparente. El cociente metabólico muestra correlación negativa y significativa (Coef. -0,304\*), con la densidad aparente, ya que a mayor densidad aparente mayor porcentaje de arenas y menor retención de humedad, como se deduce de su relación negativa y altamente significativa con el tiempo, (Coef. -0,412\*\*) influyendo negativamente en la actividad de los microorganismos por no tener condiciones necesarias para tal fin.

La correlación del C orgánico con la materia orgánica es positiva y altamente significativa (Coef.1,000\*\*) al igual que con el nitrógeno (Coef. 0,626\*\*)y el cociente metabólico (Coef. 0,482\*\*), puesto que el N proviene totalmente de la MOS y el cociente metabólico depende de la cantidad de MOS.

La correlación de la biomasa microbiana con el cociente metabólico es negativa y altamente significativa (Coef. -0,786\*\*) como era de esperarse.

El comportamiento del pH, porcentaje de C orgánico y la materia orgánica en función del tiempo es positivo y altamente significativo (Coef. 0,462\*\*; Coef. 0,665\*\*y Coef. 0,664\*\* respectivamente).

La correlación del pH con el C orgánico y la materia orgánica es positiva y altamente significativa (Coef. 0,628\*\* y Coef. 0,628\*\* respectivamente).

La correlación del C orgánico con la materia orgánica es positiva y altamente significativa (Coef .1,000\*\*).



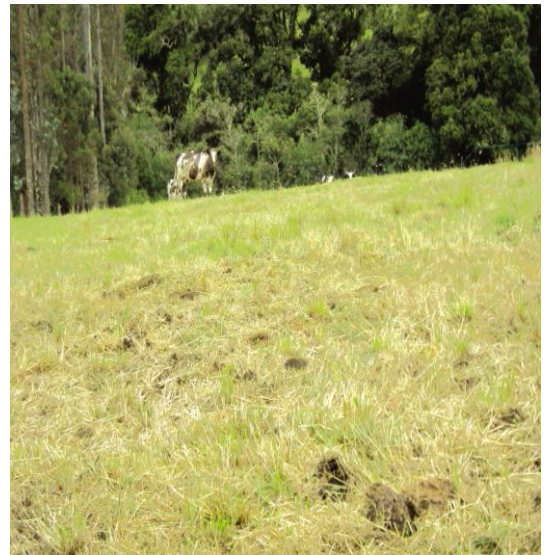
## 9 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación ambiental ayuda a identificar y valorar posibles impactos ambientales generados en un ecosistema natural o transformado por la acción humana, siendo muy importante para proponer alternativas que ayuden a mitigar las acciones más impactantes para la conservación de cierto ecosistema.

El análisis que se desarrolla a continuación relaciona las actividades antrópicas más impactantes dentro de los diferentes usos de suelo como estado comparativo entre el bosque, cultivo de pasto de corte y pastura con las posibles alteraciones en sus componentes. Para dicho análisis se utilizaron los siguientes instrumentos: una lista de chequeo para identificar las actividades que producen impactos en los usos de suelo mencionados y una matriz de FEARO (Oficina Federal de Revisión y Análisis Ambientales), la cual permite realizar un análisis cualitativo para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en los tres usos de suelo.

### 9.1 Lista de chequeo para el cultivo de pasto de corte y la ganadería extensiva.

**Figura 14.** Cultivo y ganadería presente en la zona.



Fuente: Autor (2011)

**Figura 15.** Lista de chequeo para las actividades antrópicas realizadas en la zona.

FACTOR AMBIENTAL		ACTIVIDADES ANTRÓPICAS			
		Ganadería Extensiva	Agricultura	Uso de agroquímicos	Labranza del suelo
SUELO	Alteración de las propiedades físicas	-X	-X	-X	-X
	Alteración de las propiedades químicas	-X	-X	-X	-X
	Alteración de las propiedades biológicas	-X	-X	-X	-X
CALIDAD DEL AGUA	Alteración de las propiedades físicas	-X	-X	-X	+X
	Alteración de las propiedades químicas	-X	-X	-X	+X
	Alteración de las propiedades biológicas	-X	-X	-X	+X
COMPONENTE ECOLOGICO	Flora	-X	-X	-X	-X
	Fauna	-X	-X	-X	-X
	Relaciones ecológicas	-X	-X	-X	-X
COMPONENTE SOCIAL		+x	+X	+X	+X
COMPONENTE ECONOMICO		+X	+X	+X	+X
PAISAJE	Estructura del paisaje	-X	-X	-X	-X

En la lista de chequeo se muestran con una +X las actividades que presentan un impacto positivo y con una -x las actividades que produce impactos negativos a los suelos estudiados, encontrando un impacto negativo para los componentes suelo, agua, ecológico y paisaje con las actividades como la ganadería extensiva, agricultura, uso de agroquímicos y labranza del suelo debido a que hay pérdida de la cobertura vegetal natural por el cambio de uso del suelo quedando inicialmente expuesto a problemas medioambientales con pérdida de hábitat y nichos para muchas especies, afectando la calidad

escénica del paisaje. Se encontró un impacto positivo para el componente social y económico debido a que estas actividades son fuente de empleo e ingresos para los habitantes de la zona.

## 9.2 Matriz de FEARO para ganadería extensiva

**Figura 16.** Ganadería presente en la zona.



Fuente: Autor (2011)

### Suelo

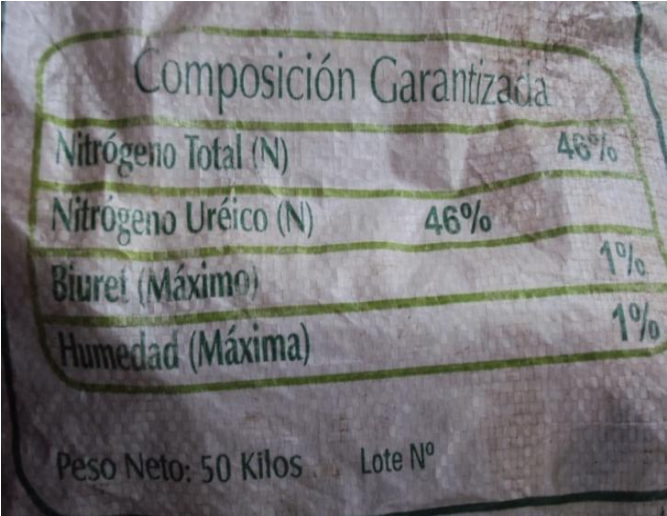
En el área de estudio se observa una gran expansión de la ganadería, que produce grandes alteraciones al recurso edáfico, por la compactación ocasionado por el pisoteo del ganado que genera cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas, esta compactación afecta en forma negativa el flujo de agua a través del perfil y la estabilidad estructural de procesos que causan erosión superficial y remociones masales (Murgueitio, 2003), además la pérdida de la cobertura vegetal natural por el cambio de uso del suelo que se ve afectado por factores como la tala y quema de los bosques exponiendo el suelo a problemas medio ambientales como la erosión hídrica.

El uso de químicos como la urea origina un incremento en el porcentaje de nitrógeno el cual influye en los procesos desarrollados por la actividad biológica, ocasionando cambios en la cantidad de C de biomasa microbiana, en la respiración de los microorganismos y en su eficiencia metabólica, ya que la utilización de fertilizantes nitrogenados genera un aumento en la actividad microbiana aportando mayor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y repercutiendo en el cociente metabólico el cual es un indicador de perturbación ecosistémica, por lo cual se encontraron en algunos meses de la investigación valores de 204,81 y 182,41 µg de C-CO<sub>2</sub>/ g suelo día para el bosque, para el suelo de

pastura 234,43 y 227,40  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2/\text{g}$  suelo día y para el cultivo 234,43 y 239,28  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2/\text{g}$  suelo día siendo mayor la actividad de los microorganismos en los suelos de pastura y cultivo.

Al ser suelos de textura franco arenosa con porcentajes mayores al 65% de arena indicando un alto nivel de erosión con pérdida de la fracción que puede unirse fácilmente a la MOS.

**Figura 17.** Fertilizante químico utilizado para la pastura.



Composición Garantizada	
Nitrogeno Total (N)	46%
Nitrogeno Uréico (N)	46%
Biuret (Máximo)	1%
Humedad (Máxima)	1%

Peso Neto: 50 Kilos      Lote N°

Fuente: Autor (2011)

## Agua

En la zona de estudio se realizan varias actividades agropecuarias que de una manera directa o indirecta afectan el recurso hídrico por la utilización de agroquímicos, además de presentarse un cambio en la cobertura vegetal natural a cultivos y ganadería extensiva la cual tiene gran importancia porque controla los procesos erosivos de igual manera sirve como filtro de sustancias contaminantes evitando que lleguen a los ríos e interviene en el ciclo hidrológico ya que dependiendo de la vegetación retiene mas las sustancias impidiendo que estas por escorrentía lleguen a las fuentes de agua.

La falta de cobertura vegetal nativa y el libre acceso de los animales a las corrientes de agua generan mayores sedimentos y con el aporte de excretas incrementan en gran medida los coliformes fecales afectando la calidad del recurso hídrico (Murgueitio, 2003).

## Aire

Este componente se ve afectado principalmente por la quema al aportar gran cantidad de  $\text{CO}_2$  al ambiente, contribuyendo con el incremento de los gases

efecto invernadero. Cabe resaltar que durante el tiempo de la investigación no se presentaron quemas debido a que las realizan a inicio del cambio del uso de suelo o en verano las cuales son muy pocas de acuerdo a la información brindada por la comunidad de la zona. Otro factor importante que influye en este componente es la ganadería la cual genera según la FAO el 18% medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), además de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) generado fundamentalmente por la digestión de los rumiantes y el 65% de oxido nitroso por el estiércol (Rivera, 2007).

### **Flora y Fauna**

El reemplazo de la cobertura natural vegetal por la expansión ganadera ocasiona una pérdida de nichos y hábitats para muchas especies presentándose una disminución en la biodiversidad y generando el desplazamiento de algunos animales. Aunque la pérdida de la cobertura vegetal no es continua, si se presentan ciclos de pérdida al igual que de ganancia, los pastos naturales ya no ocupan la mayoría de hectáreas de la microcuenca como ocurría hace varios años (CRC, 2006).

### **Población**

La zona de estudio esta habitada por comunidades indígenas, en donde se nota la transformación del ecosistema por la expansión de la ganadería y la presencia de algunos cultivos en su mayoría de pancoger, alterando de esta forma las unidades del paisaje, sin embargo podría decirse que la estructura y distribución espacial de los sectores de la producción no han ocasionado mayores efectos en el medio natural sobre todo en el bosque (CRC, 2006).

Un factor importante es que los suelos de pastura por la ganadería son una fuente de ingresos y empleo para la comunidad ya que los productos lácteos son comercializados.

**Figura 18.** Matriz de FEARO para ganadería extensiva en la zona.

MATRIZ DE FEARO			GANADERIA EXTENSIVA							
			ACTIVIDAD							
			PROCESOS	Tala	Quema	Expansión de la ganadería	Adecuación pastura	Rotación del ganado	Uso de fertilizantes químicos	Limpieza de potreros
SUBSISTEMAS	FACTORES	POSIBLES IMPACTOS								
ABIOTICO	SUELO	Alteración del horizonte A						*		
		Compactación del suelo								
		Alteración de las propiedades físicas y químicas								
		Alteración de las propiedades biológicas: Cambios en la biomasa microbiana, respiración microbiana y cociente metabólico								
		Procesos erosivos								
	AGUA	Cambios en escorrentías y nivel freático								
		Incremento en la sedimentación								
		Alteración de las características físicas, químicas y biológicas								
		Alteración de zonas riparianas								
		Alteración de las comunidades acuáticas (flora y fauna)								
AIRE	Ruido									
	Incremento en la velocidad del viento									
	Emisión de gases (CO <sub>2</sub> ) partículas									
BIÓTICO	FLORA	Fragmentación de bosques								
		Transformación de cobertura vegetal								
		Pérdida de hábitat y nichos								
		Variación de humedad y evapotranspiración								
		Alteración del proceso sucesional								
	Modificación en la diversidad vegetal									
FAUNA	Desplazamiento de especies									
	Pérdida de Hábitat y nichos									
	Pérdida de especies nativas y/o endémicas									
PERCEPTUAL	PAISAJE	Alteración de la estructura (parches según usos)								
POBLACIÓN Y ACTIVIDADES	POBLACIÓN	Cambios en el uso del suelo								
		Apropiación de los recursos	*	*	*	*				
		Contaminación por el uso de fertilizantes químicos								
	ECONOMÍA	Empleo e ingresos	*	*	*	*				*
		Mayor producción	*	*	+	*				
		Incremento de la comercialización			*					

En la matriz de FEARO para la ganadería extensiva, se observa que las actividades como: tala, quema, expansión de la ganadería, uso de fertilizantes químicos presentan un efecto significativamente adverso para la mayoría de los factores como suelo, agua, flora, fauna y paisaje, se presenta un efecto adverso para el agua, aire, suelo y paisaje con las actividades tala, quema, adecuación de pastura, rotación del ganado y limpieza de potreros encontrando un efecto benéfico para la población y economía ya que con todas estas actividades los habitantes de la comunidad se ven beneficiados por ser fuente de empleo e ingresos debido a la comercialización de productos lácteos.

Es indudable que con el cambio de uso del suelo, se presentan las actividades con mayor impacto, pero es de resaltar que en la zona actualmente se han implementado otras actividades buscando evitar la contaminación al ambiente y el deterioro de los recursos como la rotación del ganado que favorece al suelo, por tal razón se debe seguir trabajando en ello hasta encontrar un equilibrio para los componentes ambientales.

### 9.3 Matriz de FEARO para el cultivo de pasto de corte

**Figura 19.** Cultivo de pasto de corte.



Fuente: Autor (2011)

#### **Suelo**

Una de las principales actividades en la zona es la agricultura que trae consigo la disminución de la cobertura vegetal natural dejando el suelo expuesto a factores medio ambientales, en la zona se dan una serie de cultivos en su mayoría para el autoconsumo, además del cultivo de pasto de corte, como alimento para el ganado utilizando abonos orgánicos como el estiércol de ganado mezclado con pasto picado y cal ocasionando cambios en el pH del suelo generando alteración en las características químicas, físicas y biológicas del suelo.

Como resultado en la investigación se tiene valores bajos en la actividad microbiana en el bosque 182,41  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2/\text{g}$  suelo día ya que el pH fue menor en relación al suelo de cultivo 239,28  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2/\text{g}$  suelo día y de pastura 227,40  $\mu\text{g}$  de  $\text{C-CO}_2/\text{g}$  suelo debido que las adiciones de abonos orgánicos mezclados con cal incrementan el pH factor que promueve la

biomasa microbiana, además del alto contenido de MO para el cultivo y pastura ya que los microorganismos utilizan compuestos orgánicos para su crecimiento y desarrollo. En cuanto al C de biomasa microbiana se encontró mayor contenido del mismo en el bosque atribuible a la cobertura vegetal la cual protege a los microorganismos de los efectos directos del sol, además de poseer arboles los cuales cambian la estructura de la comunidad microbiana, siendo menor en el cultivo y en el suelo de pastura. Este comportamiento repercute en el cociente metabólico como se observó en algunos meses del experimento el cual incremento en el suelo de pastura mostrando un aumento en el  $q(\text{CO}_2)$  muy marcado ocasionado por un desbalance en la comunidad microbiana (Montenegro, 2008).

### Aire

Este componente se afecta principalmente por la quema en donde se elimina la cobertura vegetal totalmente y al no haber presencia de esta se da un incremento en la velocidad del viento creando un mayor impacto por erosión eólica con el transporte de partículas y suelo en el aire.

### Flora y fauna

La implementación de cultivos trae consigo un efecto grande ya que la flora presente en estos suelos es eliminada totalmente, el cual permite muy pocas especies vegetales acompañantes llevando a la pérdida potencial de hábitats y nichos de muchos animales, sumado al proceso de fragmentación de ecosistemas altoandinos que modifican la diversidad vegetal e interrumpen las cadenas tróficas y el proceso sucesional propio de estos sistemas.

### Población

El cambio de uso del suelo ocasiona pérdida en las coberturas vegetales, al implementar cultivos para el autoconsumo y como alimento para el ganado usando agroquímicos y enmiendas para suplir las deficiencias de algunos nutrientes en el suelo. Es por lo cual que las actividades agropecuarias implementadas afectan los diferentes componentes del ecosistema como son el recurso hídrico, suelo, flora, fauna y el paisaje.

**Figura 20.** Cal utilizada para la elaboración de abonos orgánicos.



Fuente: Autor (2011)



**Figura 21.** Matriz de FEARO para el cultivo de pasto de corte.

MATRIZ DE FEARO			CULTIVO DE PASTO DE CORTE							
			ACTIVIDAD							
SUBSISTEMAS	FACTORES	POSIBLES IMPACTOS	PROCESOS	Tala	Quema	Preparación del suelo	Exposición de suelos	Siembra en contra de la pendiente	Utilización de abonos orgánicos	Cosecha
						NO HAY IMPACTO				
		FALTA INFORMACIÓN								
		EFFECTO SIGNIFICATIVAMENTE ADVERSO								
		EFFECTO ADVERSO								
		EFFECTO SIGNIFICATIVAMENTE BENEFICO								
		EFFECTO BENEFICO								
ABIOTICO	SUELO	Alteración del horizonte A						*		
		Compactación del suelo								
		Alteración de las propiedades físicas y químicas								
		Alteración en las propiedades biológicas: Cambios en la biomasa microbiana, respiración microbiana y cociente metabólico								
		Procesos erosivos								
	AGUA	Cambios en escorrentías y nivel freático								
		Incremento en la sedimentación								
		Alteración de las características físicas, químicas y biológicas								
		Alteración de zonas riparianas								
	AIRE	Alteración de las comunidades acuáticas (Flora y Fauna)								
		Ruido								
		Incremento en la velocidad del viento								
BIÓTICO	FLORA	Emisión de gases (CO <sub>2</sub> ) y partículas								
		Fragmentación de bosques								
		Transformación de cobertura vegetal								
		Pérdida de hábitat y nichos								
	FAUNA	Variación de humedad y evapotranspiración								
		Alteración del proceso sucesional								
		Modificación en la diversidad vegetal								
		Desplazamiento de especies								
PERCEPTUAL	PAISAJE	Pérdida de hábitat y nichos								
		Pérdida de especies nativas y/o endémicas								
POBLACIÓN Y ACTIVIDADES	POBLACIÓN	Alteración de la estructura (parches según usos)								
		Pérdida de la calidad escénica (cambio en el uso del suelo)								
	ECONOMÍA	Cambios en el uso de suelo								
		Apropiación de los recursos								
		Empleo e ingresos	*	*	*					
		Mayor producción	*	*	*				*	
		Incremento de la comercialización								

En la matriz de FEARO para cultivo de pasto se observa un efecto significativamente adverso para los factores: suelo, agua, flora, fauna y paisaje por actividades como tala, quema, preparación del suelo y exposición de suelos, se presenta un efecto adverso para el agua, aire, suelo y paisaje con las actividades tala, quema, preparación del suelo, exposición de suelo y utilización de abonos orgánicos encontrando un efecto benéfico para la población y economía ya que estas actividades son fuente de empleo e ingresos para la subsistencia de los habitantes de la zona.

Es importante destacar la actividad de siembra en contra de la pendiente porque de esta manera se evita el arrastre del suelo y ayuda a que la erosión sea más limitada, además las actividades realizadas no son tan preocupantes debido a que se han implementado actividades que favorecen de alguna manera a los componentes ambientales.

## 10 CONCLUSIONES

- Los suelos analizados presentan textura franco arenosa, baja densidad aparente, fuerte acidez, altos niveles de MO y N, baja relación C/N. El uso de suelo influye en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno, siendo inferiores en el bosque.
- El C de biomasa microbiana es superior en el suelo de bosque seguida del cultivo y de pastura, y disminuye en función del tiempo, atribuyéndose esta disminución al estrés o perturbación.
- No se encontró diferencia en respiración microbiana en los tres usos de suelo, pero varía en función del tiempo debido al cambio de las condiciones climáticas.
- El cociente metabólico fue bajo en los diferentes usos de suelo, mostrando un incremento muy marcado para el suelo de pastura al término de 6 meses.
- La lista de chequeo y matriz FEARO permitieron encontrar para los usos de suelo cultivo de pasto y pastura las actividades más impactantes sobre los componentes del ecosistema, presentándose cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- La evaluación ambiental permitió identificar los componentes mas afectados por las actividades agropecuarias como son: suelo, flora, fauna y paisaje, puesto que las coberturas vegetales propias de estos ecosistemas son eliminadas o transformadas debido al cambio de uso; causando alteración de propiedades físicas químicas y biológicas en suelos de cultivo y pastura en los que se detecta incremento de MO, N, pH, respiración microbiana y disminución de biomasa con respecto a los de bosque, como producto del manejo por la aplicación de enmiendas de cal, de abonos orgánicos y de fertilizantes induciendo a mayor liberación de gases efecto invernadero y contribuyendo así al calentamiento global.

## **11 RECOMENDACIONES**

Realizar estudios de caracterización microbiológica, para conocer las especies presentes en los diferentes usos de suelo, siendo un complemento muy importante para un mejor análisis de los datos sobre la actividad biológica.

Es necesario crear propuestas para la zona enfatizando en la conservación del suelo teniendo en cuenta aspectos culturales de los indígenas, donde se profundice en la actividad biológica, para el mejoramiento de la calidad del suelo y su productividad con un compromiso de protección al medio ambiente.

Dar a conocer los resultados de esta investigación a los habitantes de la región mediante talleres, ponencias y demás medios de información, para que tengan un conocimiento de la problemática en la zona, siendo este trabajo una herramienta muy importante para la gestión y alternativas de conservación de suelos, así mismo garantizar la productividad del recurso edáfico.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

ADRIAANSE, A. 1993. Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. monographs. Netherlands.

ACUÑA, O., PEÑA, W., SERRANO, E., POCASANGRE, L., ROSALES, F., DELGADO, E., TREJOS, J., SEGURA, Á. 2006. Importance of microorganisms for soils quality and health. XVII Reuniao Internacional da Associacao para a Cooperacao nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. Brasil. p. 222-233.

ACOSTA, Y. y PAOLINI, J. Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratados con residuos orgánicos. Multiciencias, Vol, 6 N° 2, 2006 (180 - 187).

BOUWMAN, A. F. 1990. Soils and the Greenhouse Effect. New York: John Wiley and Sons.

BANDICK, A. K. y DRICK, R. P. 1999. Field management effects on soils enzymes activities. Soils Biology and Biochemistry 31(11): 1471-1479.

BAUTISTA, A., J. ETCHEVERS, J., CASTILLO, R. C. GUTIÉRREZ. 2004. La Calidad del Suelo y sus Indicadores. Asociación Española de Ecología Terrestre, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente; Volumen XIII, Numero 002. Alicante, España. p 90-97.

BALESDENT, J., CHENU, C., BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil and Tillage Research. p. 215-220.

BRAVO REALPE, I., GIRALDO R., E. 2003. Manual de prácticas de química agrícola: análisis de suelos, última actualización. Popayán: Departamento de Química, Universidad del Cauca.

CRC. 2006. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica del río Las Piedras. Popayán, Colombia: CRC. 406 p.

CRC. 2007. El Cauca Biosostenible, Cartilla Ambiental de la CRC programa de: Educación Ambiental Participación Comunitaria y Comunicaciones. Popayán: CRC. p .12-13.

CERÓN RINCÓN, L., MELGAREJO MUÑOZ, L. M. Soil Enzymes: Health and Quality Indicators. Acta Biológica Colombiana, Vol. 10 No. 1. 2005: 5-16.

DALAL, R. y MEYER, R. 1987. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. VII Dynamic of nitrogen mineralization potentials and microbial biomass. Aust. J. Soils Res. 25: 461 - 473.

DORAN, J.W., SAFLEY, M., 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst, C., Doube, B.M., Gupta, V. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, p.1–28.

FASSBENDER, H. W., BORNEMISZA, E. 1987. *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. Costa Rica. p. 7, 11 y 121-124.

FIGUEROA, A., R. CONTRERAS, J. SÁNCHEZ. 1998. *Evaluación de Impacto Ambiental. Un instrumento para el Desarrollo*. Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.

Fundación río Las Piedras. 2011. División ambiental. Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A.E.S.P.

GOMEZ, Y. y PAOLINI J. 2011. Variación en la actividad por cambio de uso en sabanas, llanos orientales, Venezuela. *Rev. Biol. Trop* vol. 59 no.1 San José Mar.

HAIDER, K y SCHAFFER ANDREAS. 2009. *Soil Biochemistry* Science Publishers United States of America. p. 17-49.

HOYOS A. J. Valoración del efecto de fertilizantes sobre la fosfatasa ácida como indicador de la calidad de un suelo correspondiente a una microcuenca del río Piedras. Popayán: Universidad del Cauca; 2010.

HÜNNEMEYER, A. J., CAMINO, R., MULLER, S. 1997. *Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. San José, Costa Rica: IICA/GTZ.

INSAM, H. 1990. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by climate regimen? *Soil Biol. Biochem.* 22: 525 - 532.

JANZEN, H. H. 1987. Soil organic matter characteristics after long- term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67: 845-856.

JOERGENSEN, R., R. MUELLER y T. WOLTERS. 1996. Total carbohydrates of the microbial biomass in 0.5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. *Soil Biol. Biochem.* 28:1.147-1.153.

JENKINSON, D. S., LADD, J. N. 1981. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. En: E. A. Paul & J. N. Ladd (eds.), *Soil Biochemistry* Vol. 5. New York. Marcel Dekker. p.415-417.

LEON SICARD, T. E. 2010. *Agricultura sostenible*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2010. p.1-9.

MALAGON, D., PULIDO, C. 1995. *Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación*. Bogotá D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p. 289-326.

MONTENEGRO G. H., MALAGON C. D. *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá: IGAC, Subdirección de Agricultura; 1990.

- MONTENEGRO, S. Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (*Zea mays*). Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- MURGUEITIO, E. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. Fundación Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). 2003.
- MUÑOZ F. A. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión en dos tipos de agroecosistemas alto andinos en la cuenca del río Palacé. Popayán: Universidad del Cauca, 2007.
- OTERO J. D. Evaluación del arrastre de nutrientes en zona de ladera generado por escorrentía superficial en dos agroecosistemas dentro de la zona de amortiguación del parque Nacional Natural Puracé. Popayán: Universidad del Cauca, 2009.
- POWLSON, D. S.; P. C. BROOKES y B. T. Christensen. 1987. Measurement of microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to the straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19:159-164.
- QUIROGA, A. y FUNARO D. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas.476 p.
- ROBERT, M. 2002. Captura de C en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de Las Naciones Unidas para La Agricultura y La Alimentación (FAO), Roma. p. 4-57.
- RAMOS. E y ZUÑIGA. D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecol. apl.* p.123-130.
- RIVERA, M. 2007. Ganadería. Universidad Autónoma de Barcelona. *El Ecologista*, Nº 54. 2 p.
- SÁNCHEZ V, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. *FERTITEC*.p.1-17.
- SAUGIER, B. y PONTAILLER, J. Y. Carbon global cycle and its consequences on photosynthesis in the Bolivian Altiplano. *Ecología en Bolivia*, 2006 Vol. 41(3): 71-85.
- SÁNCHEZ DE P., M. 1990. Relación entre las características físicas, químicas y biológicas de varios suelos del Valle del Cauca y su efecto en los cultivos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 114 p.
- SÁNCHEZ M., ROJAS A., PEREZ JESUS., ZUÑIGA O., GASCO J. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia.

SILVA, F. 2000. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 3 ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

SMITH, J. y PAUL, E. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In Soils Biochemistry. Vol. 6. J Bollag and G. Stotzky (Eds). Marcel Dekker, New York. p. 357 – 396.

THIRUKKUMARAN CH., PARKINSON D. 2000. Microbial respiration, biomass, metabolic quotient and litter decomposition in a lodgepole pine forest floor amended with nitrogen and phosphorous fertilizers. Soil Biology y Biochemistry 32:59-66

VAN GESTEL, M., LADD, J., AMATO, M. 1991. Carbon and Nitrogen mineralization from two soils of contrasting texture and micro aggregate stability: influence of sequential fumigation, drying and storage Soil Bio Biochem 23: 313-322.

WANG X. y Z. GONG. 1998. Assesment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma 81: 339-355.

WARDLE. A., y GHANI. A. 1995. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biol. Biochem. Vol. 27, No. 12. p.1601-1610.

XINGKAI XU. INUBUSHI. K., SAKAMOTO. K. 2006. Effect of vegetations and temperature on microbial biomass carbon and metabolic quotients of temperate volcanic forest soils. Geoderma 136: 310–319.



## ANEXOS

**Anexo 1.** Parámetros de comparación para niveles de fertilidad en suelos de clima medio (Silva, 2000).

**Tabla 1. Nivel de MO en suelo de clima frío**

Nivel	Bajo	Medio	Alto
% MO	<5	5-10	>10

**Tabla 2. Nivel de Nitrógeno en un suelo de clima frío**

Nivel	Bajo	Medio	Alto
% N	< 0.25	0.25-0.50	> 0.50

**Tabla 3. Clasificación de acidez de suelos de acuerdo al valor de pH.**

pH	Clasificación
4.0 - 4.5	Acidez extrema
4.5 - 5.0	Acidez muy fuerte
5.0 - 5.5	Acidez fuerte
5.5 - 6.0	Acidez media
6.0 - 6.5	Acidez suave
6.5 - 7.0	Acidez muy suave
7.0 - 8.0	Alcalinidad suave
8.0 - 8.5	Alcalinidad moderada
8.5 - 9.0	Alcalinidad moderada
9.0 - 9.5	Alcalinidad fuerte
9.5 - 10.0	Alcalinidad muy fuerte

## Anexo 2. Tratamiento Estadístico

**Tabla 4.** Prueba de normalidad para datos en función del tiempo.

Tiempo Muestreo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	df	Sig.
Humedad Porcentaje	1	,859	9	,095
	2	,740	9	,004
	3	,841	9	,059
	4	,883	9	,169
	5	,843	9	,063
	6	,829	9	,044
Densidad aparente	1	,990	9	,996
	2	,886	9	,183
	3	,913	9	,339
	4	,906	9	,288
	5	,946	9	,644
	6	,882	9	,164
pH	1	,826	9	,040
	2	,829	9	,043
	3	,881	9	,162
	4	,759	9	,007
	5	,764	9	,008
	6	,920	9	,392
C orgánico %	1	,640	9	,000
	2	,841	9	,059
	3	,724	9	,003
	4	,744	9	,005
	5	,797	9	,019
	6	,730	9	,003
Materia Orgánica	1	,641	9	,000
	2	,839	9	,057
	3	,724	9	,003
	4	,745	9	,005
	5	,796	9	,018
	6	,733	9	,003
Nitrógeno %	1	,859	9	,094
	2	,688	9	,001
	3	,917	9	,370
	4	,803	9	,022
	5	,838	9	,055
	6	,710	9	,002

Relación C/N	1	,891	9	,204
	2	,911	9	,326
	3	,824	9	,038
	4	,744	9	,005
	5	,866	9	,111
	6	,805	9	,024
Actividad Microbiana	1	,890	9	,201
	2	,894	9	,217
	3	,903	9	,271
	4	,833	9	,048
	5	,869	9	,120
	6	,918	9	,378
Biomasa microbiana	1	,805	9	,023
	2	,732	9	,003
	3	,886	9	,180
	4	,801	9	,021
	5	,854	9	,082
	6	,851	9	,077
Cociente metabólico	1	,915	9	,356
	2	,851	9	,077
	3	,870	9	,122
	4	,937	9	,548
	5	,739	9	,004
	6	,739	9	,004

**Tabla 5.** Prueba de normalidad para datos en función del uso del suelo.

Uso Suelo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	df	Sig.
Humedad Porcentaje	Bosque	,926	18	,162
	Cultivo	,913	18	,097
	Pastura	,928	18	,180
Densidad aparente	Bosque	,812	18	,002
	Cultivo	,881	18	,027
	Pastura	,839	18	,006
pH	Bosque	,869	18	,017
	Cultivo	,941	18	,300
	Pastura	,921	18	,133
C orgánico %	Bosque	,780	18	,001
	Cultivo	,750	18	,000
	Pastura	,759	18	,000
Materia Orgánica	Bosque	,780	18	,001
	Cultivo	,751	18	,000
	Pastura	,759	18	,000

Nitrógeno %	Bosque	,853	18	,009
	Cultivo	,814	18	,002
	Pastura	,916	18	,111
Relación C/N	Bosque	,915	18	,103
	Cultivo	,881	18	,027
	Pastura	,943	18	,325
Actividad Microbiana	Bosque	,929	18	,183
	Cultivo	,903	18	,066
	Pastura	,925	18	,158
Biomasa microbiana	Bosque	,912	18	,094
	Cultivo	,802	18	,002
	Pastura	,842	18	,006
Cociente metabólico	Bosque	,880	18	,026
	Cultivo	,924	18	,151
	Pastura	,669	18	,000

**Tabla 6.** ANOVA de un factor en función del uso del suelo.

		Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad Porcentaje	Inter-grupos	48,608	2	24,304	1,543	,224
	Intra-grupos	803,274	51	15,750		
	Total	851,882	53			
pH	Inter-grupos	1,075	2	,538	53,059	,000
	Intra-grupos	,517	51	,010		
	Total	1,592	53			
Relación C/N	Inter-grupos	11,198	2	5,599	4,570	,015
	Intra-grupos	62,484	51	1,225		
	Total	73,681	53			
Actividad Microbiana	Inter-grupos	2936,008	2	1468,004	,500	,609
	Intra-grupos	149597,423	51	2933,283		
	Total	152533,432	53			

**Tabla 7.** ANOVA de un factor en función del tiempo.

		Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad Porcentaje	Inter-grupos	541,207	5	108,241	16,724	,000
	Intra-grupos	310,675	48	6,472		
	Total	851,882	53			
Densidad aparente	Inter-grupos	,780	5	,156	46,432	,000
	Intra-grupos	,161	48	,003		
	Total	,942	53			

Nitrógeno %	Inter-grupos	,474	5	,095	8,599	,000
	Intra-grupos	,529	48	,011		
	Total	1,002	53			
Relación C/N	Inter-grupos	53,918	5	10,784	26,190	,000
	Intra-grupos	19,764	48	,412		
	Total	73,681	53			
Actividad Microbiana	Inter-grupos	92982,569	5	18596,514	14,989	,000
	Intra-grupos	59550,863	48	1240,643		
	Total	152533,432	53			
Biomasa microbiana	Inter-grupos	2685611,088	5	537122,218	17,936	,000
	Intra-grupos	1437465,521	48	29947,198		
	Total	4123076,609	53			
Cociente metabólico	Inter-grupos	5,467	5	1,093	6,978	,000
	Intra-grupos	7,521	48	,157		
	Total	12,987	53			

**Tabla 8.** Prueba de Kruskal-Wallis con variable de agrupación uso del suelo.

	Densidad aparente	C orgánico %	Materia Orgánica	Nitrógeno %	Biomasa microbiana	Cociente metabólico
Chi-cuadrado	4,769	10,944	10,941	17,958	6,304	1,970
gl	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,092	,004	,004	,000	,043	,373

**Tabla 9.** Prueba de Kruskal-Wallis con variable de agrupación tiempo.

	pH	C orgánico %	Materia Orgánica
Chi-cuadrado	13,912	37,530	37,599
gl	5	5	5
Sig. asintót.	,016	,000	,000

**Tabla 10.** Correlaciones paramétricas prueba de Pearson

		Tiempo Muestreo	Uso Suelo	Humedad Porcentaje	pH	Relación C/N	Actividad Microbiana	Nitrógeno %	Biomasa microbiana	Cociente metabólico
Tiempo Muestreo	Correlación de Pearson	1	,000	-,651(**)	,438(**)	,791(**)	,052	,342(*)	-,422(**)	,518(**)
	Sig. (bilateral)	.	1,000	,000	,001	,000	,709	,011	,001	,000
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Uso Suelo	Correlación de Pearson	,000	1	,036	,810(**)	,268(*)	-,138	,524(**)	-,317(*)	,325(*)
	Sig. (bilateral)	1,000	.	,794	,000	,050	,319	,000	,020	,016
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Humedad Porcentaje	Correlación de Pearson	-,651(**)	,036	1	-,218	-,627(**)	-,221	-,140	,033	-,070
	Sig. (bilateral)	,000	,794	.	,112	,000	,109	,313	,815	,615
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
pH	Correlación de Pearson	,438(**)	,810(**)	-,218	1	,601(**)	-,152	,475(**)	-,503(**)	,491(**)
	Sig. (bilateral)	,001	,000	,112	.	,000	,274	,000	,000	,000
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Relación C/N	Correlación de Pearson	,791(**)	,268(*)	-,627(**)	,601(**)	1	,139	,356(**)	-,408(**)	,402(**)
	Sig. (bilateral)	,000	,050	,000	,000	.	,317	,008	,002	,003
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Actividad Microbiana	Correlación de Pearson	,052	-,138	-,221	-,152	,139	1	,242	,680(**)	-,177
	Sig. (bilateral)	,709	,319	,109	,274	,317	.	,078	,000	,201
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Nitrógeno %	Correlación de Pearson	,342(*)	,524(**)	-,140	,475(**)	,356(**)	,242	1	-,076	,250
	Sig. (bilateral)	,011	,000	,313	,000	,008	,078	.	,585	,068
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Biomasa microbiana	Correlación de Pearson	-,422(**)	-,317(*)	,033	-,503(**)	-,408(**)	,680(**)	-,076	1	-,606(**)
	Sig. (bilateral)	,001	,020	,815	,000	,002	,000	,585	.	,000
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Cociente metabólico	Correlación de Pearson	,518(**)	,325(*)	-,070	,491(**)	,402(**)	-,177	,250	-,606(**)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,016	,615	,000	,003	,201	,068	,000	.
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). \* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**Tabla 11.** Correlaciones no paramétricas prueba de Spearman.

			Tiempo Muestreo	Uso Suelo	Densidad aparente	C orgánico %	Materia Orgánica	Nitrógeno %	Biomasa microbiana	Cociente metabólico	pH
Rho de Spearman	Tiempo Muestreo	Coeficiente de correlación	1,000	,000	,171	,665(**)	,664(**)	,244	-,409(**)	,668(**)	,462(**)
		Sig. (bilateral) N	. 54	1,000 54	,217 54	,000 54	,000 54	,076 54	,002 54	,000 54	,000 54
	Uso Suelo	Coeficiente de correlación	,000	1,000	-,259	,405(**)	,405(**)	,582(**)	-,345(*)	,190	,796(**)
		Sig. (bilateral) N	1,000 54	. 54	,059 54	,002 54	,002 54	,000 54	,011 54	,168 54	,000 54
	Densidad aparente	Coeficiente de correlación	,171	-,259	1,000	,161	,161	,051	,527(**)	-,304(*)	-,091
		Sig. (bilateral) N	,217 54	,059 54	. 54	,246 54	,245 54	,713 54	,000 54	,025 54	,513 54
	C orgánico %	Coeficiente de correlación	,665(**)	,405(**)	,161	1,000	1,000(**)	,626(**)	-,194	,482(**)	,628(**)
		Sig. (bilateral) N	,000 54	,002 54	,246 54	. 54	,000 54	,000 54	,159 54	,000 54	,000 54
	Materia Orgánica	Coeficiente de correlación	,664(**)	,405(**)	,161	1,000(**)	1,000	,625(**)	-,193	,483(**)	,628(**)
		Sig. (bilateral) N	,000 54	,002 54	,245 54	,000 54	. 54	,000 54	,161 54	,000 54	,000 54
	Nitrógeno %	Coeficiente de correlación	,244	,582(**)	,051	,626(**)	,625(**)	1,000	-,023	,112	,473(**)
		Sig. (bilateral) N	,076 54	,000 54	,713 54	,000 54	,000 54	. 54	,866 54	,419 54	,000 54
	Biomasa microbiana	Coeficiente de correlación	-,409(**)	-,345(*)	,527(**)	-,194	-,193	-,023	1,000	-,786(**)	-,480(**)
		Sig. (bilateral) N	,002 54	,011 54	,000 54	,159 54	,161 54	,866 54	. 54	,000 54	,000 54
	Cociente metabólico	Coeficiente de correlación	,668(**)	,190	-,304(*)	,482(**)	,483(**)	,112	-,786(**)	1,000	,515(**)
		Sig. (bilateral) N	,000 54	,168 54	,025 54	,000 54	,000 54	,419 54	,000 54	. 54	,000 54
	pH	Coeficiente de correlación	,462(**)	,796(**)	-,091	,628(**)	,628(**)	,473(**)	-,480(**)	,515(**)	1,000
		Sig. (bilateral) N	,000 54	,000 54	,513 54	,000 54	,000 54	,000 54	,000 54	,000 54	. 54

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). \* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**Anexo 3.** Vegetación dominante en los diferentes usos del suelo.

**Tabla 12.** Vegetación dominante para los tres usos de suelo bosque, cultivo y pastura.

USO DEL SUELO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
BOSQUE		<i>Aphelandra acanthus</i> Nees	Acanthaceae
		<i>Mauria simplicifolia</i> Kunth	Anacardiaceae
		<i>Ageratina tinifolia</i> (Kunth) R. K. & H. R.	Asteraceae
		<i>Critoniopsis</i> sp. Sch. Bip.	
		<i>Liabum</i> sp.	
		<i>Cordia</i> sp. L.	Boraginaceae
	Higuillo	<i>Vasconcellea cundinamarcensis</i> V.M. Badillo	Caricaceae
	Lechero	<i>Euphorbia laurifolia</i> Juss. ex Lam.	Euphorbiaceae
	Sangregrado	<i>Croton</i> sp. L.	
		<i>Ocotea</i> sp. Aubl.	Lauraceae
		<i>Leandra</i> sp. Raddi	Melastomataceae
		<i>Meriania splendens</i> Triana	
		<i>Tibouchina mollis</i> (Bonpl.) Cogn.	
	Maco	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	Meliaceae
		<i>Myrcianthes</i> sp. O. Berg	Myrtaceae
		<i>Hieronyma macrocarpa</i> Müll. Arg.	Phyllanthaceae
	Cordoncillo	<i>Piper barbatum</i> Kunth	Piperaceae
		<i>Geissanthus</i> sp. Hook. f.	Primulaceae
	Coco	<i>Panopsis polystachya</i> (Kunth) Kuntze	Proteaceae
		<i>Turpinia heterophylla</i> (Ruiz & Pav.) Tul.	Staphyleaceae
		<i>Siparuna echinata</i> (Kunth) A. DC.	Siparunaceae
		<i>Solanum</i> sp. L.	Solanaceae
		<i>Solanum parvifolium</i> R. Br.	
		<i>Styrax</i> sp. L.	Styracaceae
	<i>Duranta sprucei</i> Briq.	Verbenaceae	



<b>CULTIVO</b>		<i>Hydrocotyle sp.</i> L.	Araliaceae
	Margarita	<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> L.	Asteraceae
		<i>Cirsium echinatum</i> D.C.	
	Capacho	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	
	Ray gras	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Poaceae
		<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach	Poaceae
		<i>Otholobium mexicanum</i> (L. f.) J. G.	Fabaceae
	Trébol de flor blanca	<i>Trifolium repens</i> L.	
<b>PASTURA</b>	Pasto Kikuyo		Poaceae