



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES
CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tema de tesis

“RESPIRACIÓN DE SUELO POR SUSTRATO INDUCIDO EN UN BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO Y EN UNA CRONOSECUENCIA DE PASTIZALES EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”.

**Tesis previa la obtención del
título de Ingeniera en Gestión
Ambiental**

Autora:

Nora Luz González Castillo

Directora:

Ing. Leticia Salomé Jiménez Álvarez

Loja - Ecuador

2009

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Loja, 05 de noviembre de 2009

Ingeniera

Leticia Salomé Jiménez Álvarez

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA UTPL

El trabajo de tesis denominado: **“RESPIRACIÓN DE SUELO POR SUSTRATO INDUCIDO EN UN BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO Y EN UNA CRONOSECUENCIA DE PASTIZALES EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**, presentado por la Srta. **Nora Luz González Castillo**, ha sido dirigido, revisado y discutido en todas sus partes. Por lo cual autorizo la presentación, sustentación y defensa del mismo.

Ing. Leticia Salomé Jiménez Álvarez

DIRECTORA DE TESIS

AUTORÍA

Las ideas, opiniones, criterios y recomendaciones plasmadas en el presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

.....
Nora Luz González Castillo
Autora

CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Nora Luz González Castillo, declaro ser autora del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y sus representantes locales de posibles reclamos y acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

Nora Luz González Castillo

AUTORA

Ing. Leticia Salomé Jiménez Álvarez

DIRECTORA DE TESIS

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado sobre todo a Dios, por iluminarme a seguir el camino de la sabiduría y darme esperanzas en cada momento de mi vida.

Al igual que a mi padres, Olga y Luis, por el apoyo brindado a lo largo de mi formación tanto intelectual como personal; especialmente a mi madre por ser mi compañía en cada uno de los días, compartiendo mis anhelos y desesperanzas, siendo el aliento que me dio fuerzas para seguir adelante, sujetándome a mis sueños como solo ella lo podría hacer.

Para finalizar también es dedicado a mis dos hermanas, Marcia y Diana, que aunque a veces no las pude tener tan cerca como lo deseaba, me regalaron todo el tiempo necesario para poderme entender, para invadirme con sus deseos y ánimos, logrando darme su ejemplo para seguirlo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, en especial al CITTES Servicios Agropecuarios - Grupo de Suelos, quienes apoyaron el desarrollo de este proyecto; al laboratorio de Análisis Instrumentales y de Química, por facilitarme los materiales e instrumentos para realizar los respectivos análisis de suelo, así como también a los propietarios de las fincas donde se realizó el muestreo.

Igualmente agradezco al Ing. Celso Romero, Ing. Juan Ignacio Burneo, Ing. Geovanny Figueroa, Ing. José Guartán, Ing. Miguel Guamán y al Ing. Daniel Capa docentes de la Universidad que de diferente manera apoyaron al presente trabajo.

De manera muy especial a la Ing. Leticia Salomé Jiménez Álvarez, quien me ha brindado su confianza, me ha dedicado todo el tiempo posible para el desarrollo del este proyecto y ha compartido conmigo gran parte de sus conocimientos profesionales y personales.

A Frank Riera, Edwin Maurad, Martín Robles, Johanna Gusmán y Cristina Briseño quienes colaboraron en las diferentes fases del proyecto.

Finalmente agradezco la paciencia y el apoyo brindado por parte de mis compañeros y amigos, especialmente a Priscila, Ximena, Tania, Emperatriz, Diana, Samara y Verónica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	5
2.1.	Objetivo General.....	5
2.2.	Objetivos Específicos.....	5
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1.	EFFECTO INVERNADERO.....	6
3.2.	CALENTAMIENTO GLOBAL.....	6
3.3.	BOSQUES HÚMEDOS TROPICALES.....	7
3.3.1.	Influencia de la vegetación en el suelo.....	7
3.4.	EDAFOLOGÍA.....	8
3.5.	MICROBIOLOGÍA DEL SUELO.....	8
3.5.1.	Atmósfera del suelo.....	8
3.6.	CALIDAD DEL SUELO.....	9
3.7.	RESPIRACIÓN DEL SUELO.....	9
3.7.1.	Biomasa y actividad microbiana del suelo.....	10
	• Respiración por sustrato inducido.....	11
	• Fumigación-incubación y fumigación-extracción.....	12
IV.	METODOLOGÍA	13
4.1.	IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
4.1.1.	Área de estudio para el bosque.....	13
4.1.2.	Área de estudio para los pastizales.....	14
4.2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
4.2.1.	Hidrología.....	15
4.2.2.	Clima.....	15
4.2.3.	Formación vegetal.....	15
4.2.4.	Características edáficas.....	15
4.3.	MATERIALES	16
4.3.1.	Material de campo.....	16
4.3.2.	Material de laboratorio.....	16
4.3.3.	Reactivos	16
4.3.4.	Equipos de laboratorio.....	16

4.4.	METODOLOGÍA.....	16
4.4.1.	Metodología para la fase de campo.....	16
	• Fase de campo para el bosque.....	16
	• Fase de campo para los pastizales.....	18
	• Diseño experimental de la fase de campo.....	19
	• Esquema de la fase de campo.....	19
4.4.2.	Metodología para la fase de laboratorio.....	20
	• Capacidad de campo.....	20
	• Contenido de humedad.....	21
	• Cantidad de agua para añadir a las muestras.....	21
	• Cantidad de glucosa y tiempo de incubación.....	21
	• Respiración por sustrato inducido (SIR).....	22
	• Esquema de la fase de laboratorio.....	23
4.4.3.	Análisis estadístico.....	24
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1.	RESULTADOS PARA EL BOSQUE.....	25
5.1.1.	Análisis de las variables.....	25
	• Respiración de suelo y equitatividad.....	25
	• Relación entre el SIR y otros parámetros (pH y humedad).....	26
5.2.	RESULTADOS PARA LOS PASTIZALES.....	26
5.2.1.	Análisis de las variables.....	27
	• Respiración de suelo entre la cronosecuencia.....	27
	• Relación entre el SIR y otros parámetros (pH y humedad).....	28
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
6.1.	Conclusiones.....	31
6.2.	Recomendaciones.....	31
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	33
VIII.	ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas del bosque.....	13
Tabla 2.	Ubicación de las áreas de estudio de los pastizales.....	14
Tabla 3.	Intervalos de tiempo de incubación.....	21
Tabla 4.	Promedio de análisis de pH.....	23
Tabla 5.	Promedios de % H, % CC y SIR del bosque.....	25
Tabla 6.	Correlación entre el SIR y la equitatividad	25
Tabla 7.	Promedio de %H y %CC ₆₀ de la cronosecuencia.....	26
Tabla 8.	Promedio del SIR de las cronosecuencias	27
Tabla 9.	Relación entre el SIR y las cronosecuencias.....	27
Tabla 10.	Relación de la respiración de suelo con el pH.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Vías del flujo de carbono en el ecosistema.....	9
Figura 2.	Mapa de ubicación del área de estudio del bosque.....	13
Figura 3.	Mapa de ubicación del área de estudio de los pastizales.....	14
Figura 4.	Diseño experimental del área de estudio para el bosque.....	17
Figura 5.	Esquema de cada parcela del bosque.....	17
Figura 6.	Familias que presentan mayor diversidad en el bosque.....	18
Figura 7.	Diseño experimental del área de estudio para los pastizales.....	18
Figura 8.	Diseño experimental de cada parcela de estudio para los pastizales.....	19
Figura 9.	Gráfico del análisis de capacidad de campo.....	20
Figura 10.	Gráfico del proceso de SIR.....	22
Figura 11.	Correlación entre el SIR y equitatividad.....	25
Figura 12.	Correlación entre el SIR con las cronosecuencias.....	27
Figura 13.	Correlación entre el SIR y el pH.....	28

ABREVIATURAS

% CC = Capacidad de campo

% CC₆₀ = Capacidad de campo al 60 %

% H = Porcentaje de humedad

BaCl₂ = Cloruro de bario

CFC = Clorofluorocarbono

HCl = Ácido clorhídrico

HFCs = Hidrofluorocarbonos

MOS = Materia orgánica del suelo

NaOH = Hidróxido de sodio

PFCs = Perfluorocarbonos

pH = Potencial hidrógeno

RAE = Región Amazónica Ecuatoriana

SF₆ = Hexafluoruro de azufre

SIR = Respiración inducida por sustrato

RESUMEN

El dióxido de carbono forma parte de los llamados “gases de efecto invernadero” contribuyendo así al calentamiento global. La generación de dióxido de carbono no sólo se debe a las actividades de origen antrópico, sino también a una variedad de procesos naturales como erupciones volcánicas, incendios forestales e incluso llevados a cabo en el suelo como la respiración. En este estudio se determinó el flujo de CO₂ en dos entornos a través del método de respiración por sustrato inducido (SIR). En el primero se analizó la influencia del estrato vegetal (equitatividad) de un bosque húmedo tropical con la respiración edáfica, en el cual no se encontró correlación entre estas dos variables, y el promedio de flujo de CO₂ en este bosque fue de 1794,59 µg.g⁻¹.h⁻¹. Además, en este bosque no se encontró correlación entre la respiración de suelo con el pH y la humedad. En el segundo caso, se midió el flujo de CO₂ producido por la respiración de suelo entre pastizales de diferentes edades (pastos de 30, 20 y 10 años); en estos se encontró mayor respiración de suelo en los de treinta años con un promedio de 1645,45 µg.g⁻¹.h⁻¹, y una menor cantidad de respiración de suelo en los de diez años (1045,75 µg.g⁻¹.h⁻¹). Dentro de la cronosecuencia de pastizales se encontró correlación entre la respiración de suelo con el pH, mientras que la humedad no influyó en la respiración de suelo.

Palabras claves: Bosque húmedo tropical, cronosecuencia de pastizales, biomasa microbiana, CO₂, respiración de suelo, SIR.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques húmedos tropicales tienen funciones tanto productivas, ambientales y sociales; en cuanto a lo ambiental, estos bosques intervienen en la regulación climática, secuestro y almacenamiento de carbono, reserva de biodiversidad y conservación de agua y suelo (Montagnini y Jordan, 2005). Además, estos bosques son responsables de una gran producción del flujo de carbono global debido a los ecosistemas naturales que presentan (Silver, 1998).

Sierra (1999), manifiesta que la vegetación natural de los bosques tropicales de la Amazonía casi han desaparecido por completo para ser reemplazados por cultivos y pastos, quedando únicamente árboles aislados para potreros como evidencias de lo que fue la vegetación original. De esta manera, los bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) especialmente en la provincia de Zamora Chinchipe, se encuentran bajo una fuerte presión antrópica, lo cual se debe a la expansión de la frontera agrícola (cultivos-pastizales), siendo necesario realizar investigaciones encaminadas a comprender como influyen estos procesos y contribuir a un manejo sustentable de la RAE.

El avance del calentamiento global se le atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas (PNUMA, 2003), principalmente por las altas emisiones de CO₂ provenientes de la generación eléctrica sobre la base de combustibles fósiles (CORDELIM, 2008); sin embargo, existen otras fuentes de emisiones considerables dentro de las cuales está el suelo; que a pesar de su participación en el ciclo del carbono (C) mediante la respiración de suelo, esta no ha sido bien cuantificada (Raich y Schlesinger, 1992; Körner, 2000).

Por otra parte, el aumento de CO₂ en la atmósfera y los cambios climáticos son afectados por la distribución y ciclo del C en los trópicos a través de la vegetación y los suelos (Silver, 1998). La destrucción de las selvas húmedas tropicales produce un tercio del dióxido de carbono, el cual es vertido a la atmósfera (Erickson, 1994). La cantidad total de C que contiene el suelo es superior al del CO₂ atmosférico, por lo que el suelo desempeña un importante papel en el ciclo del C y puede representar un aporte significativo de CO₂ y de otros gases de invernadero a la atmósfera (García *et al.*, 2003).

Un factor importante dentro de la salud y la productividad de un ecosistema y el medio ambiente en general es el suelo, sin embargo, son muy pocos los estándares determinados que permiten conocer la calidad del suelo, por lo que resulta difícil definirla y cuantificarla (Doran y Parkin, 1994). Los procesos microbianos del suelo son un ejemplo de indicadores que permiten conocer la calidad del suelo y proporcionar información que aporte al manejo y la toma de decisiones regulatorias (Turco *et al.*, 1994).

Como un proceso clave del ecosistema, la respiración de suelo está relacionada con la productividad del ecosistema, la fertilidad del suelo y los ciclos de carbono tanto global como regional que participan relevantemente en el cambio climático (Lou y Zhou, 2006). La respiración del suelo es un proceso que refleja la actividad biológica del mismo y se pone de manifiesto a través del desprendimiento de CO₂ o el consumo de O₂ resultante del metabolismo de los organismos vivos existentes en el suelo. El CO₂ se produce por el 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 (García *et al.*, 2003).

Según Benedetti *et al.* (2006), los métodos que permiten evaluar la calidad del suelo son: Biomasa y actividad microbiana del suelo, diversidad microbiana del suelo y estructura de las comunidades, e interacción de plantas-microorganismos.

La biomasa y la actividad microbiana, se puede conocer a través de la respiración de suelo mediante la aplicación de algunos métodos como la fumigación-extracción, fumgación-incubación y la respiración por sustrato inducido; la ventaja de éste último método es su fácil aplicación y el bajo costo para analizarse en el laboratorio.

A pesar que estos métodos están bien correlacionados según los estudios realizados (Kaiser *et al.*, 1992; Anderson y Joergensen, 1997; Lin y Brookes, 1996), el método que mayor aplicabilidad ha tenido es el SIR, ya que ha sido empleado en varios ámbitos. Uno de estos es el monitoreo de la calidad del suelo, en el cual la predicción de la biomasa microbiana fue comparada con el contenido del C orgánico y el N, pH, y los contenidos de arcilla y arena del suelo (Höper y Kleefisch, 2001; Oberholzer y Höper, 2001), así como la

integración de los usos del suelo, condiciones climáticas y otras condiciones del suelo (Höper, 2006). Otro ámbito en el que ha sido aplicado este método es en la evaluación de riesgos de la ecotoxicología, donde se observa que la respiración cambia considerablemente con el incremento de la contaminación (Winkel y Wilke, 1997; Johansson et al., 1998; Wilke y Winkel, 2000).

En formaciones vegetales similares a las áreas de este estudio se han llevado a cabo pocas investigaciones relacionadas con la respiración del suelo, entre ellas está el estudio realizado por Feigl *et al.* (1995) en una bosque de la amazonia de Brasil en donde encontraron que la temperatura no está relacionada con el flujo de CO₂, mientras que la humedad si se relaciona; en el Ecuador se han realizado estudios de la respiración total en un Bosque tropicales (Parque Nacional Podocarpus y en la Estación Científica San Francisco) en donde tanto la respiración de raíces como de microorganismos tienen una importante vinculación con las emisiones de CO₂, pero su aporte es mínimo al calentamiento global (Cueva, 2004); así como también se ha medido la respiración de suelo y la determinación de la biomasa en pastos activos y abandonados, en el cual se destaca que los pastos activos presentan un mayor flujo de CO₂ que los pastos abandonados, además tienen un aporte mínimo al calentamiento global (Chiriboga, 2008).

A pesar que se han llevado pocas investigaciones en estas áreas, ninguna de estas ha aplicado el método del SIR. Sin embargo, existen algunos estudios que se han realizado en diferentes lugares, por ejemplo, Krebs (2004) evaluó los fondos de la acuicultura y determinó los parámetros para medir el flujo de CO₂; Nsabimana *et al.* (2004) analizó el impacto de los usos del suelo agrícolas en la biomasa microbiana.

Considerando lo antes mencionado, en este estudio se ha propuesto investigar dos aspectos muy importantes dentro de la respiración de suelo, el primero es conocer la relación que existe entre el estrato vegetal con la respiración de suelo, y el segundo, es analizar el impacto que ejercen las diferentes edades de pastizales sobre la respiración edáfica, mediante la estimulación de la respiración a través de la aplicación de la glucosa como una sustancia estimulante de la actividad microbiana.

Con estos objetivos se puede aportar con conocimientos base que junto a más análisis complementarios, permitan entender la dinámica y los procesos ecológicos que se producen en el ecosistema. Además, existe muy poco levantamiento de información sobre respiración de suelo por sustrato inducido en estas zonas, por lo que los datos obtenidos pueden ser utilizados para realizar comparaciones con otros métodos que permitan medir la respiración del suelo, y de esta forma analizar la confiabilidad de los métodos.

II. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Estudiar y determinar la respiración del suelo en un bosque Siempreverde Montano Bajo y en una cronosecuencia de pastizales en Zamora Chinchipe.

2.2. ESPECÍFICOS

- Determinar la relación del estrato vegetal con la respiración del suelo.

- Analizar la influencia de las diferentes edades de pastizales (mayor a treinta años, aproximadamente veinte años y menor a diez años) sobre la respiración del suelo.

- Determinar la relación del pH y la humedad con la respiración del suelo tanto en el bosque como en los pastizales.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es un fenómeno natural que permite la vida en la Tierra; es causado por una serie de gases que se encuentran en la atmósfera, provocando que parte del calor del sol que nuestro planeta refleja quede atrapado manteniendo la temperatura media global favorable a la vida (Ecoportal *et al.*, 2004; Varela, 2005).

Los gases de efecto invernadero (que incluyen el vapor de agua, dióxido de carbono y metano) calientan la atmósfera por una eficiente absorción térmica de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes (Gallardo, 2009).

3.2. CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global fue notado por primera vez en 1863 por el científico británico Tyndall, quien observó que las concentraciones de ciertos gases en la atmósfera se estaban incrementando y que esto tenía una correlación con el incremento en la temperatura del planeta (CORDELIM, 2008).

Los gases (CO_2 , N_2O , CH_4 , H_2O , CFC, HFCs, PFCs, SF_6) que intervienen en este proceso se conocen como los “Gases de Efecto Invernadero” (GEI), porque atrapan la radiación solar de onda larga causando un efecto de calentamiento gradual alrededor de la Tierra (CORDELIM, 2008). Aunque existe una presencia natural de estos GEI en la atmósfera, su concentración ha aumentado vertiginosamente durante los últimos cien años (CORDELIM, 2008), siendo el dióxido de carbono (CO_2) el gas que más contribuye a este fenómeno seguido por el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (Fisher, 1998; Körner, 2000; Ecoportal *et al.*, 2004; Ianiuszewski, 2007).

Con el propósito de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático, se acordó el Protocolo de Kyoto, el 10 de diciembre de 1997, que es el protocolo del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Los 125 países que participan en este protocolo asumen el compromiso de reducir sus emisiones entre los años 2008 y 2012, en un porcentaje del 5 % para cada uno de los seis GEI, tomando como referencia los niveles de emisión de 1990. Para los países en vías de desarrollo se estableció un

mecanismo de desarrollo limpio y provisión de recursos financieros nuevos (Zambrano, 2005; Enger y Smith, 2006).

3.3. BOSQUES HÚMEDOS TROPICALES

Tener conocimientos de la dinámica y los procesos ecológicos de biomas, ecosistemas comunidades y especies es muy importante porque puede contribuir significativamente al mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) y en general del bioma de la selva húmeda en todo el trópico (Maza y Muñoz, 2004).

El bosque en el trópico húmedo es un sistema productor de biomasa en grandes cantidades y con altos valores ecológicos; cuando estos son talados o quemados para dar lugar a plantaciones de cultivos o pasto, a la explotación de madera o a los asentamientos humanos, se altera el equilibrio natural y en un tiempo relativamente corto se degrada la fertilidad del suelo en su conjunto (Palacios y Jaramillo, s.f.; Dinesh, 2003; Maza y Muñoz, 2004; Valarezo, 2004), al mismo tiempo que todo el C almacenado en los árboles es liberado hacia la atmósfera (Montagnini y Jordan, 2005).

Los bosques en general tienen una mayor influencia en las condiciones del suelo que la mayoría de los otros tipos de ecosistemas de plantas (Binkley *et al.*, 1998). Además, la cantidad de C presente en las raíces varía entre los tipos de bosque y en respuesta de los diferentes factores ambientales (Raich, 1998).

3.3.1. Influencia de la vegetación en el suelo

Según Barrios (s.f.), la vegetación actúa sobre el suelo de diferentes formas:

- El bosque protege al humus por el ambiente sombreado y húmedo que produce.
- El enraizamiento protege el suelo contra la erosión, favorece la permeabilidad del suelo y su aireación.
- El humus producido por la vegetación mejora la estructura del suelo y favorece a la microflora y microfauna.

Además, la cubierta vegetal controla la erosión ocasionada por el agua; si esta es removida, las partículas del suelo se fragmentan y por consiguiente existe menos agua

almacenada en el suelo y más erosión y escorrentía superficial durante las lluvias (Stallings, 1985; Montagnini y Jordan, 2005).

Otro factor que se debe tomar en cuenta son las prácticas de cultivos, pues estas ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbiales del suelo, debido a la modificación de las condiciones de porosidad y por lo tanto del flujo de gases y agua a través de los espacios vacíos (Mora, 2006).

3.4. EDAFOLOGÍA

La edafología es una ciencia que a más de estudiar las características de los suelos, su formación y su evolución, sus propiedades físicas, morfológicas, químicas y mineralógicas y su distribución, también comprende el estudio de las aptitudes de los suelos para la explotación agraria o forestal (Bussmann, 2002).

El suelo es una cubierta delgada sobre la tierra que consiste en una mezcla de minerales, material orgánico, organismos vivos, aire y agua, que soporta el crecimiento de las plantas y la vida en general (Plaster, 2000; Enger y Smith, 2006). Además, es un recurso y un elemento asociado con factores con la producción de la biomasa, ciclos hidrológicos, fijación de energía, biodiversidad y amortiguamiento de cambios climáticos (Enkerlin y Mier, 1997)

3.5. MICROBIOLOGÍA DEL SUELO

El suelo es un organismo vivo que está en constante interacción con los microorganismos y las plantas, con el propósito de lograr el crecimiento y desarrollo de la vegetación; además, señala que existen factores intrínsecos y extrínsecos que constituyen un indicador de la dinámica del suelo y de condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos (Coyne, 2000; Mora, 2006).

3.5.1. Atmósfera del Suelo

El suelo, a más de contener agregados sólidos, también contiene poros los cuales están llenos de agua y gas; si los suelos tienen una adecuada ventilación se puede encontrar nitrógeno (79 %), oxígeno (18 a 20 %) y dióxido de carbono (1 a 10 %); de estos, el CO₂

es más elevado en el suelo que en la atmósfera en la cual se encuentra un 0,03 % (Coyne, 2000; Montagnini y Jordan, 2005).

El intercambio de la atmósfera del suelo con el aire superficial varía de acuerdo con: el contenido de humedad, el grado de agregación de las partículas del suelo y el tamaño de los poros, los gradientes térmicos, condiciones climáticas con el viento y el tipo de manto vegetal (Raich y Schlesinger, 1992; Coyne, 2000).

3.6. CALIDAD DEL SUELO

Según Schloter *et al.* (2006), la calidad edáfica es la capacidad del suelo para funcionar como un sistema vital dentro de los límites de la tierra y ecosistemas, para sostener la productividad biológica, promover la calidad ambiental y mantener la salud de plantas, animales y humanos.

3.7. RESPIRACIÓN DE SUELO

El carbono entra en los ecosistemas terrestres a través de un único proceso, la fotosíntesis, pero se devuelve a través de una variedad de procesos, denominados colectivamente como la respiración (figura 1) (Ryan y Law, 2005; Trumbore, 2006).

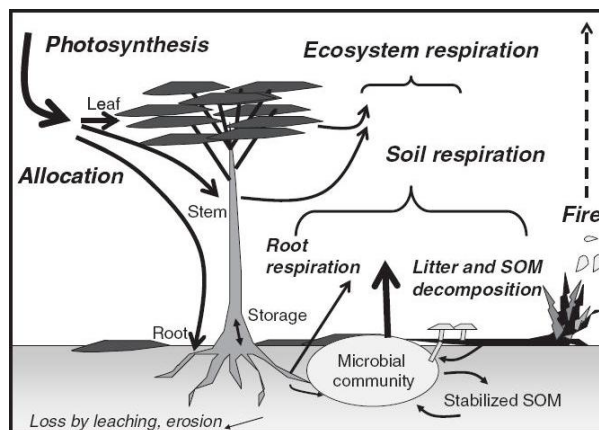


Figura 1: Vías del flujo de carbono en el ecosistema.

La respiración edáfica es un proceso ecológico que se reconoce como la principal fuente de flujo de C (Pell *et al.*, 2006) procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del C en ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger, 1992). También puede ser definida como la disminución de las

concentraciones de oxígeno (O) en el suelo por el consumo realizado por la actividad biológica y al mismo tiempo el aumento de las concentraciones de CO₂ debido a la respiración (Coyne, 2000; García *et al.*, 2003; Mora, 2006; Pelle *et al.*, 2006).

En este proceso participan microorganismos como bacterias, hongos, algas y protozoos que ayudan a la descomposición de la materia orgánica del suelo y macroorganismos como lombrices de tierra, nematodos e insectos (Schinner *et al.*, 1996; García *et al.*, 2003; Pell *et al.*, 2006). De la respiración total que tiene lugar en los suelos, entre un 20 y 40 % se debe a las raíces, mientras que el resto tiene origen microbiano que da lugar a la producción del CO₂ (Coyne, 2000; García *et al.*, 2003). Además, la respiración edáfica comprende un proceso clave dentro del ecosistema ya que tienen una gran relación con los sistemas de productividad y fertilidad del suelo (Lou y Zhou, 2006).

La respiración depende de muchos factores como la dinámica de la raíz, ciclos de nutrientes, (Raich y Schlesinger, 1992; Lou y Zhou, 2006), la temperatura, la humedad del suelo, la cantidad y calidad del sustrato (Buchmann, 2000), la concentración de oxígeno, la biodisponibilidad de carbono (Pell *et al.*, 2006), pH (Krebs, 2003), así como también de los usos de la tierra, cobertura vegetal, mineralogía y prácticas de manejo (Mora, 2006).

3.7.1. Biomasa y actividad microbiana del Suelo

Según Benedetti *et al.* (2006) para poder evaluar la calidad del suelo se debe basar en parámetros como la biomasa y la actividad microbiana del suelo, los cuales son fáciles de determinar ya sea en el laboratorio como en el campo.

La biomasa microbiana es medida por el CO₂ respirado (Mora, 2006) y se determina para dar una indicación de la respuesta de la microbiota del suelo al manejo, cambio ambiental, alteración del sitio, la contaminación del suelo (Kandeler, 2007) y a la fertilidad del suelo (Beck, 1997).

Los ciclos de la mayoría de los elementos son impulsados en parte o totalmente por la cantidad y la actividad de los organismos que asimilan los compuestos minerales o descomponen la materia orgánica (Fliebbach, 2006). Además, conduce a la liberación de

los nutrientes disponibles para las plantas, y son de importancia crucial en los ciclos biogeoquímicos (Dilly, 2006).

Para conocer la biomasa y la actividad microbiana del suelo existen métodos bioquímicos y fisiológicos, los más utilizados son: respiración por sustrato inducido, fumigación-incubación y la fumigación-extracción (Benedetti y Dilly, 2006).

- **Respiración por Sustrato Inducido (SIR)**

La respiración por sustrato inducido o SIR (Substrate-induced respiration), es un método que estima la cantidad de carbono retenido en microorganismos heterótrofos a través de la medición de la respiración inicial después de la adición de un sustrato disponible (Anderson y Domsch, 1978). Este método permite conocer la biomasa microbiana del suelo mediante la estimulación de la respiración como respuesta de los microorganismos del suelo a la aplicación de una mezcla de glucosa más talco (1:3) como sustrato.

El principio detrás del SIR es la medición de la "máxima respuesta inicial respiratoria" de la muestra de suelo después de su modificación con glucosa (Heinemeyer *et al.*, 1989); esta respiración máxima inicial es proporcional a la cantidad de C presente en la muestra de suelo (Kandeler, 2007).

La óptima concentración de glucosa para lograr la máxima respiración inicial tiene que ser determinada para cada tipo de suelo y tiene que ser aplicada para que el método del SIR se estandarice para cada tipo de suelo (Kandeler, 2007; Höper, 2006). Además, permite mantener condiciones idénticas de incubación, determinar y controlar el agua del suelo apropiada para cada muestra (Cheng y Coleman, 1989).

Según Krebs (2003), la cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) consumido; la cantidad de NaOH inicialmente presente menos la cantidad remanente al final del período de incubación, se utiliza para computar la cantidad de CO₂ involucrado por el suelo, que entra en la solución y reacciona con el NaOH.

- **Fumigación-incubación y fumigación-extracción**

Estos métodos son basados en la evolución del CO₂; el método de fumigación con cloroformo e incubación (CFI) consiste en exponer el suelo húmedo al cloroformo libre de etanol por 24 horas para matar los microorganismos, luego es incubado por 10 días. Se analiza el CO₂ producido por los microorganismos que sobreviven a la fumigación (Kandeler, 2007).

La fumigación con cloroformo y extracción (CFE) este método consiste en fumigar el suelo con cloroformo, incubarlo por 24 horas y extraer algunos componentes como el carbón, nitrógeno azufre y potasio de la biomasa (Joergensen y Brookes, 2005).

IV. METODOLOGÍA

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, situada al sur-este del Ecuador, en los cantones Centinela del Cóndor y Yanzatza. La identificación de cada zona muestreada se la realizó en base a los objetivos.

4.1.1. Área de estudio para el bosque

El área de estudio es un bosque que se encuentra en el cantón Yanzatza, sector Mutintza (figura 2), en la finca del señor Leonardo Zúñiga; este bosque no presentó presión ambiental ni antrópica, además, la superficie del terreno permitió establecer las parcelas necesarias para el estudio.

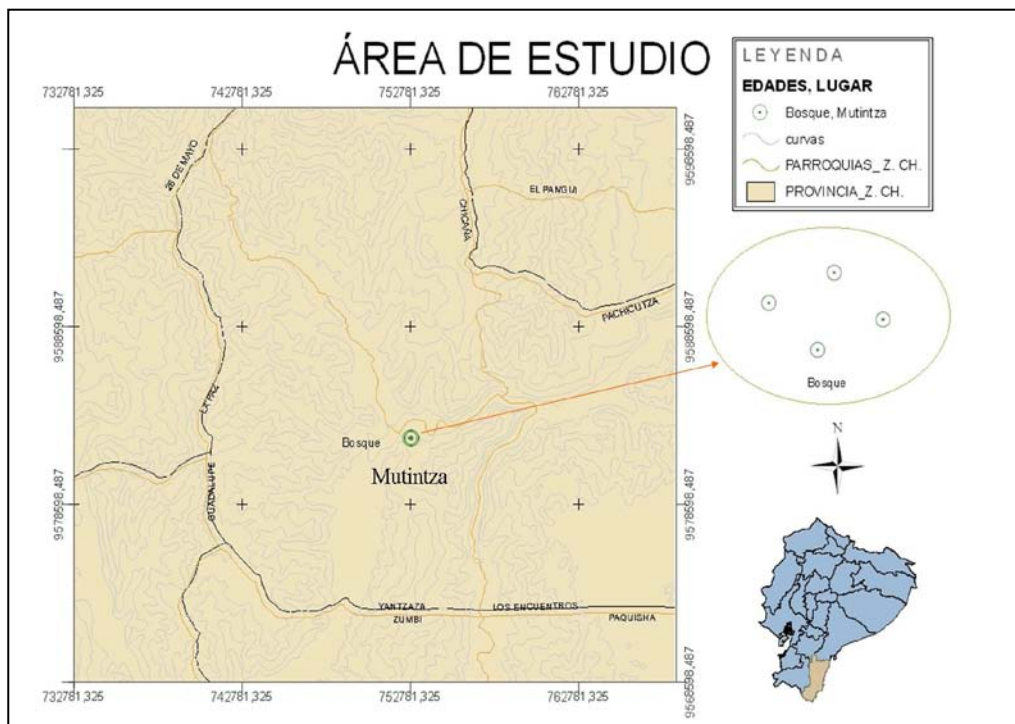


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio del bosque

El bosque se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

N	E
9582285	752868
9582344	752799
9582327	752956
9582386	752888

Tabla 1. Coordenadas del bosque

4.1.2. Área de estudio para los pastizales

Se escogió cuatro zonas (figura 3), cada una conformada por: pastizales mayor a treinta años, de veinte años aproximadamente, menores a diez años y un bosque que se lo consideró como testigo; las zonas se encuentran localizadas en los siguientes lugares:

Zona	Cronosecuencia	Lugar
Zona 1	Bosque	Nanguipa
	10 años	
	20 años	
	30 años	
Zona 2	Bosque	Nanguipa
	10 años	
	20 años	
	30 años	
Zona 3	Bosque	La Hueca
	10 años	Panguintza
	20 años	La Hueca
Zona 4	Bosque	Mutintza
	10 años	
	20 años	
	30 años	

Tabla 2. Ubicación de las zonas de estudio



Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio de los pastizales

4.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.2.1. Orografía

El relieve de la provincia de Zamora Chinchipe es accidentado ya que la cordillera oriental y occidental de los andes se estrechan formando nudos y ramificaciones que se extienden a esta provincia. Además, también cuenta con la Cordillera del Cóndor o tercera cordillera en la Región Amazónica, la misma que está ubicada al oriente (Palacios, 1995).

4.2.2. Hidrología

Los principales ríos que cursan son: Zamora que viene desde la ciudad de Loja atravesando la Cordillera Oriental de los Andes. Los ríos Nangaritza, Chinchipe y Jamboé que van hacia el norte. Al sur se encuentran los ríos Palanda, Jíbaro e Ismanchi; y al sureste de la provincia de Zamora Chinchipe se encuentra el Canchis que sirve de límite con el Perú (Palacios, 1995).

4.2.3. Clima

El clima es cálido tropical húmedo, presenta una temperatura media anual 22 °C, y una precipitación anual mayor a 1 900 mm (Valarezo, 2004).

4.2.4. Formación vegetal

Estas zonas se caracterizan por presentar un Bosque Siempreverde Montano Bajo (Bsvmb) este tipo de bosque se caracteriza por la alta presencia de árboles del género *Podocarpus* que alcanza los 30 m de altura y 1 m DAP. El sotobosque está dominado por especies del género *Chusquea*. Las especies utilizadas para determinar este tipo de formación vegetal son la *Cecropia montana* con una rango altitudinal varia entre 500 y 1500 m (Baquero *et al.*, 2004).

4.2.5. Características edáficas

Los suelos del trópico húmedo son suelos ferralíticos (acumulación de hierro y aluminio) y se forman en un ambiente de meteorización ferralítica (Valarezo, 2004).

Las colinas y montañas bajas de relieve ondulado a fuertemente socavado se encuentran sobre rocas metamórficas y cristalinas y se caracterizan por ser arcillosos, muy ácidos y con muy baja reserva mineral (Valarezo *et al.*, 1998). Los suelos dominantes son

Inceptisoles del suborden Aquepts, del gran grupo Tropaquepts y del subgrupo Fluventic (IEM, 1986).

4.3. MATERIALES

4.3.1. Material de campo

Barreno, fundas plásticas etiquetadas, flexómetro, clinómetro, altímetro, GPS, navaja, piola, libreta de campo, cámara fotográfica.

4.3.2. Material de laboratorio

Probetas, pipetas, balones de aforo, matraces, desecador, buretas, cajas petri, tubos de ensayo, vasos pequeños de plástico, frascos de vidrio (boca ancha), barra magnética, agitador magnético, peras, tamiz y espátulas.

4.3.3. Reactivos

Cloruro de bario ($BaCl_2$), Hidróxido de sodio (NaOH), Ácido clorhídrico (HCl), Glucosa, Talco, Carbonato de sodio, fenolftaleína, naranja de metilo.

4.3.4. Equipos de laboratorio

Balanza de precisión, conductímetro, incubadora, agitador, estufa, bureta digital y computadora

4.4. METODOLOGÍA

Para conocer la respiración de suelo tanto en bosque como en pastizales se desarrolló la siguiente metodología comprendida de dos fases: la fase de campo y de laboratorio.

4.4.1. Metodología para la fase de campo

Al igual que para la identificación del área, en esta fase (muestreo) se consideró los objetivos de estudio.

- **Fase de campo para el bosque**

Para esta fase, se procedió a establecer el área de estudio a través del ordenamiento espacial y experimental de cada una de las parcelas evaluadas; se recolectaron 147 muestras de las cuales se analizaron 98 muestras del horizonte mineral en un total de 49 parcelas.

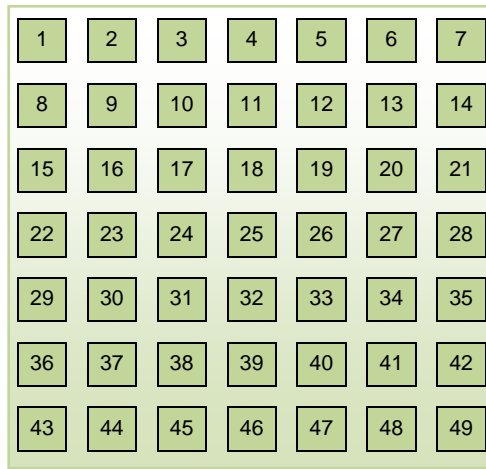


Figura 4. Diseño experimental del área de estudio para el bosque

Dentro de cada parcela establecida, se llevó a cabo el siguiente diseño experimental:

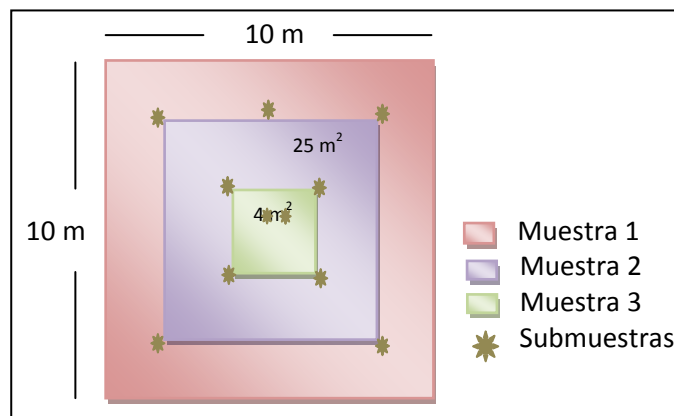


Figura 5. Esquema de cada parcela del bosque

Las parcelas estuvieron separadas entre sí a una distancia de 5 m aproximadamente; el área total de la parcela fue de 100 m², cada una de estas parcelas estuvo conformada por tres sub-parcelas, la primera de 10 x 10 m, la segunda de 5 x 5 m, y la tercera de 2 x 2 m (figura 5); dentro de estas sub-parcelas se tomaron las muestras tanto de suelo como de vegetación.

En el muestreo de suelo (figura 5) se colectaron tres muestras (una en cada sub-parcela) a una profundidad de 0 a 20 cm, para cada muestra se tomaron sub-muestras de suelo que fueron mezcladas para obtener una muestra homogénea, de estas muestras se analizaron las dos primeras y la tercera se la almacenó (en refrigeración) como respaldo por posibles daños o pérdidas de las otras dos.

La información utilizada para establecer la correlación entre la vegetación y la respiración de suelo, se basó en el estudio realizado sobre el estrato vegetal, específicamente en la equitatividad existente en el bosque de Mutintza (Anexo 1). Según este estudio (Anexo 2), las familias más dominantes del lugar en cuanto al hábito fueron:

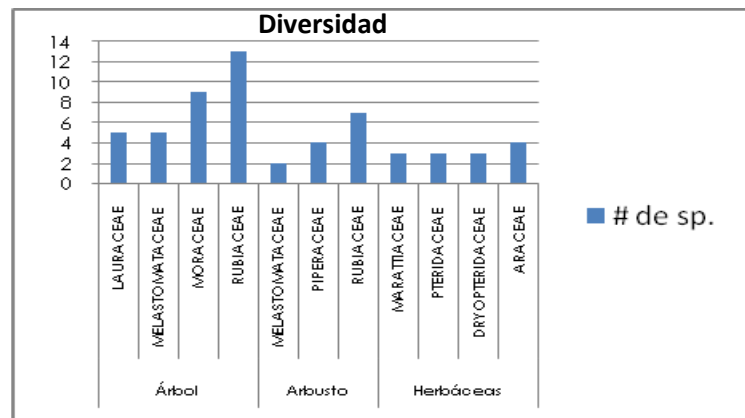


Figura 6. Familias que presentan mayor diversidad en el bosque

- **Fase de campo para los pastizales**

Luego de identificar las áreas de estudio, se contó con las siguientes zonas conformadas de bosque y pastizales:

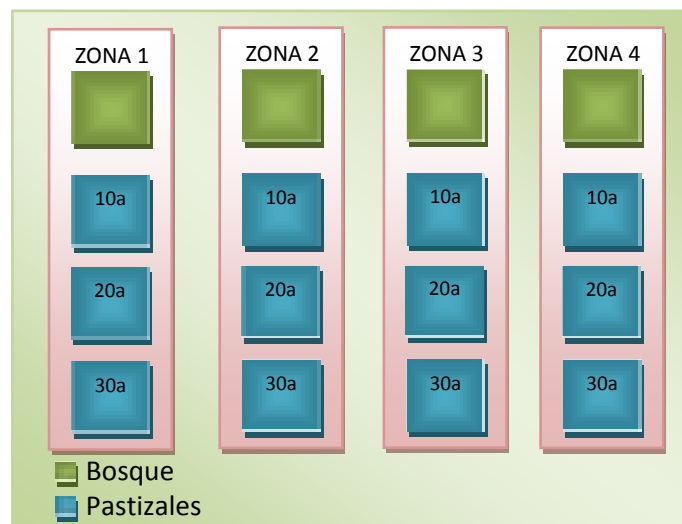


Figura 7. Diseño experimental del área de estudio para los pastizales

Después de realizar el ordenamiento espacial y experimental de cada zona, se establecieron cuatro parcelas en el bosque y en cada edad de pastizales, dentro de las cuales se llevó a cabo el siguiente diseño experimental:

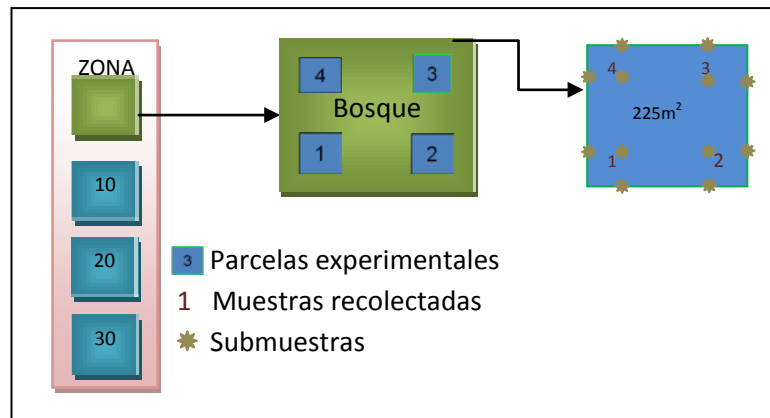


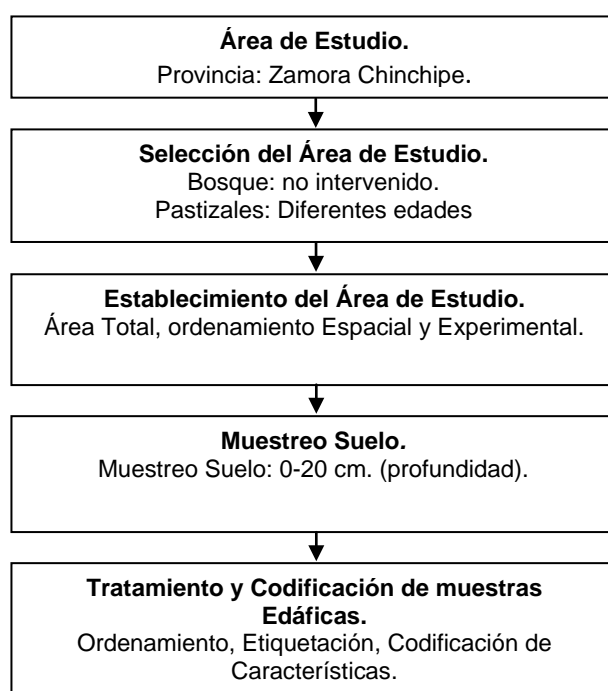
Figura 8. Diseño experimental de cada parcela de estudio para los pastizales

Cada parcela tiene una superficie de 225 m² (15 x 15 m) de la cual se recolectaron 4 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, a su vez cada una de estas se conformó de 3 sub-muestras las cuales fueron mezcladas para obtener una muestra homogénea. En total se realizaron 64 parcelas, de las cuales se tomaron 256 muestras del horizonte mineral.

- **Diseño experimental de la fase de campo**

Para el diseño experimental, se realizó bloques al azar, con el cual se logró establecer parcelas experimentales permanentes en los diferentes lugares de estudio.

- **Esquema de la fase de campo**



4.4.2. Metodología para la fase de laboratorio

Luego de recolectar las muestras de suelo se procedió a dividir las, una parte se tamizó (utilizando un tamiz < 2 mm) y almacenó en el refrigerador para conservar su humedad y la otra parte de suelo se la dejó secar al ambiente, igualmente se tamizó con la ayuda de un tamiz < 2 mm y finalmente se realizó los siguientes análisis: contenido de humedad y respiración edáfica con el suelo húmedo y capacidad campo con el suelo seco, todos basados en las metodologías desarrolladas en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM, 2006). A continuación se describe cada uno de ellos:

- **Capacidad de campo**

Se pesó 100 g de suelo de la muestra seca y tamizada, se colocó en una probeta de 100 ml, se anotó el volumen ocupado por esta cantidad de suelo, se añadió 5 ml de agua (gota a gota) en el centro y se tapó la probeta, luego de 24 horas se observó y anotó el volumen de suelo seco que quedó, finalmente se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{CC} = (V_1 / (V_1 - V_2)) * (5 \text{ ml de H}_2\text{O}/100 \text{ g de suelo}) * 100 \quad (\text{ecuación 1})$$

V_1 = Volumen inicial (volumen ocupado por los g de suelo)

V_2 = Volumen final (volumen que ha quedado sin humedecerse)

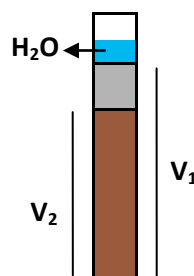


Figura 9. Gráfico del análisis de capacidad de campo

Del resultado de la ecuación 1 se obtuvo el 60 % de la CC ($\text{CC}_{60\%}$), que es el porcentaje que se utiliza en esta metodología.

$$\text{CC}_{60\%} = (\% \text{CC} * 60) / 100 \quad (\text{ecuación 2})$$

- **Contenido de humedad**

Los recipientes fueron colocados en la estufa a 105 °C durante dos horas, después de este tiempo se los dejó en el desecador por 30 minutos; posteriormente, se tomó el peso del recipiente; sin encerar la balanza se pesó aproximadamente 3 g de cada muestra de suelo húmedo, se anotó ese valor, luego se dejó durante 24 horas en la estufa a 105 °C, finalmente se las dejó en el desecador por 30 minutos y se volvió a tomar su peso. La fórmula que se aplicó fue la siguiente:

$$\% H = 100*(Ph - Ps) / (Ps - Pv) \quad (\text{ecuación 3})$$

Ph = peso de la muestra húmeda

Ps = peso seco a 105 °C

Pv = peso de la vasija vacía

- **Cantidad de agua para añadir a las muestras**

Luego de terminar con los análisis de capacidad de campo y contenido de humedad, se definió la cantidad de agua necesaria para agregar al suelo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ml H}_2\text{O a añadir} = (\text{g de suelo}) * (\text{CC}_{60\%} - \% H) / (\% H + 100) \quad (\text{ecuación 4})$$

- **Cantidad de glucosa y tiempo de incubación**

Antes de iniciar el procedimiento para la SIR, se llevaron a cabo algunas pruebas que permitieron establecer la cantidad de glucosa adecuada para los suelos de las zonas de estudio, así como también para determinar el periodo de incubación de las muestras.

Para fijar la cantidad de glucosa se realizó pruebas con diferentes cantidades de glucosa más talco (1:3), siendo 0,24 g de glucosa la cantidad más adecuada para estimular la respiración edáfica.

En cuanto al período de incubación, se realizaron medidas de la conductividad eléctrica del NaOH a través del conductímetro durante diferentes intervalos de tiempo, durante las tres primeras horas se midió cada 30 minutos y a partir de esta cada 45 minutos:

# mediciones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:45	4:30	5:15

Tabla 3. Intervalos de tiempo de incubación

Según los datos que se obtuvieron de la conductividad eléctrica, el período más óptimo de incubación fue en la sexta medición, a las tres horas tabla 4. (Anexo 3).

- **Respiración por sustrato inducido (SIR)**

Luego de haber obtenido los datos anteriores de capacidad de campo y de humedad, se inició con el proceso de respiración de suelo por el método de respiración por sustrato inducido (SIR) propuesta por Anderson y Domsch en 1978.

El método de la respiración por sustrato inducido se basa en el principio de que los microorganismos reaccionan a la adición de glucosa con una respuesta inmediata de la respiración que es proporcional a la biomasa (Höper, 2006) o al carbono microbial (Beck *et al.*, 1995) principalmente, la biomasa bacteriana (Heinrich, 2006).

Se utilizó 20 g de suelo húmedo el cual se mezcló con 0,24 g de glucosa mas 0,72 g de talco, dentro de un frasco de vidrio (boca ancha) se colocó esta mezcla junto con un vaso pequeño con 15 ml de sosa (NaOH 0,05 N) y un tubo de ensayo con agua, finalmente el frasco se selló herméticamente y fue llevado a la incubadora a 22 °C por un periodo de tres horas. Para el desarrollo del SIR se realizaron tres blancos por cada 12 muestra de suelo mineral.

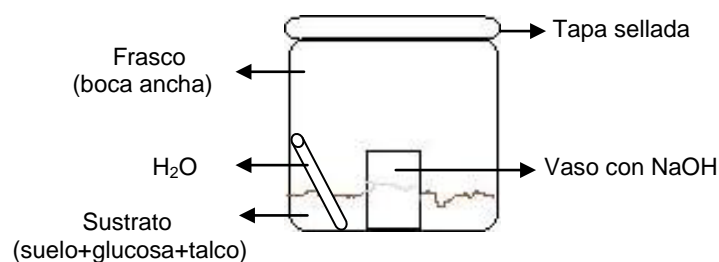


Figura 10. Gráfico del proceso de SIR

Transcurrido este tiempo se procedió a realizar la titulación, en donde, se añadió a la sosa 15 ml de cloruro de bario (BaCl₂ 0,5 N), esta mezcla se valoró con ácido clorhídrico (HCl 0,05 N); finalmente se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2 \text{ mg/kg h} = ((V_b - V_m) * N * 6,6 * 1000) / (P_m * t) \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

Vb = valoración del blanco

Vm = valoración de la muestra

N = normalidad disolución de HCl

Pm = (Peso de la muestra * 100)/(100 + CC₆₀ %)

t = tiempo de incubación

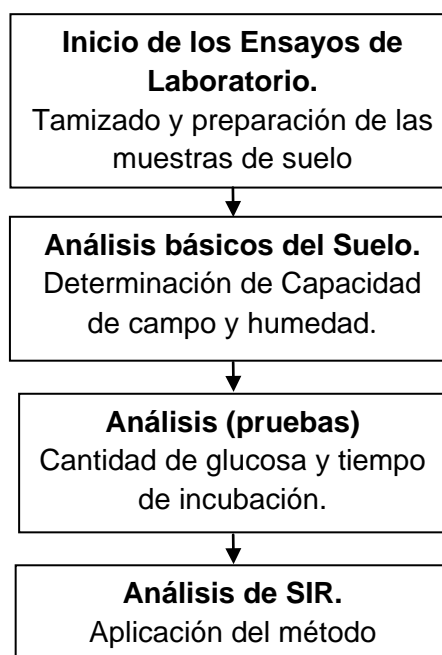
Para la presentación de los resultados se utilizó un factor de conversión de unidades y se los expresó en: $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Como dato adicionales, se consideró el pH analizado en investigaciones anteriores en el bosque (Anexo 4) y para las zonas de pastizales, tabla 5 (Anexo 5) con el fin de analizar la existencia de una correlación de este con la respiración edáfica del suelo.

Uso	pH %
Bosque	4,711
10 años	4,762
20 años	5,145
30 años	5,184

Tabla 4. Promedio de análisis de pH
Fuente. Martín Robles, 2009

- **Esquema de la fase de laboratorio**



4.4.3. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se determinó la normalidad de las variables utilizando la prueba de Shapiro Wilk y en los casos en las que no se encontró normalidad se procedió a realizar transformaciones con la finalidad de incrementar su normalidad.

Para el bosque se realizó una correlación paramétrica de Pearson entre la respiración edáfica y el estrato vegetal (equitatividad); así como también entre la respiración edáfica y otros factores como el pH y la humedad.

En los pastizales se analizó el impacto de la cronosecuencia de estos sobre la respiración del suelo, para ello se utilizó un diseño mixto lineal, el cual nos permitió identificar la existencia o no de una diferencia significativa entre las cronosecuencias de pastizales; adicionalmente se realizó una correlación entre la respiración edáfica con otros parámetros como el pH y la humedad, igualmente utilizando un análisis paramétrico de Pearson.

El nivel de significación con el que se trabajó fue del 5 % y se utilizó el programa estadístico SPSS 13.0.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS PARA EL BOSQUE

Según los análisis de suelo (Anexo 4) realizados en el bosque de Mutintza se encontró los siguientes resultados:

Análisis	Promedio
Humedad	9,52 %
Capacidad de campo	15,66 %
SIR	1794,59 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

Tabla 5. Promedios de % H, % CC y SIR del bosque

5.1.1. Análisis de las variables

- **Respiración de suelo y equitatividad**

Para el análisis de estas variables se utilizó una correlación paramétrica (Pearson), en donde se estableció la existencia de una relación de 0,036, indicando que no existe una relación significativa entre el SIR y la equitatividad.

		SIR	Equit_
SIR	Pearson Correlation	1	-,301*
	Sig. (2-tailed)		,036
	N	49	49
Equit	Pearson Correlation	-,301*	1
	Sig. (2-tailed)	,036	
	N	49	49

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabla 6. Correlación entre el SIR y la equitatividad

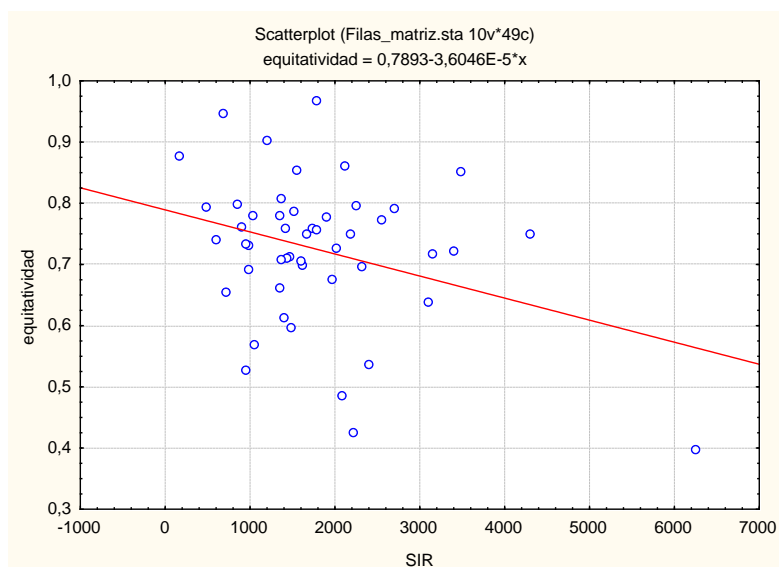


Figura 11. Correlación entre el SIR y la equitatividad

Estos resultados contribuyen al estudio realizado por Cueva (2004) mediante el método de litterbags, en donde realizó mediciones del peso de dos calidades de hojas (*Myrica Pubescens* y mezcla de hojarasca) en varios periodos, en cuyos resultados encontró que la respiración de suelo no presentó cambios en respuesta al aumento de la diversidad de especies vegetales. Debido a que las parcelas de estudio se encuentran dentro de un mismo bosque y separadas a una distancia pequeña (5 m), la cobertura vegetal existente en el bosque puede influir en varias parcelas a la vez, proporcionando una cantidad de biomasa homogénea en cada una de estas y un aporte significativo de carbono para la biota del suelo; además, según Castro (2005), la presencia de la vegetación ayuda a hacer menos vulnerable el suelo a la desecación y a la erosión; sin considerar el tipo de hábito de la vegetación existente en el lugar. Adicionalmente podemos considerar que la riqueza de especies en los bosques tropicales no siempre se da en los suelos más ricos, sino que los suelos ricos también pueden presentar una baja diversidad (Montagnini y Jordan, 2004).

- **Relación entre el SIR y otros parámetros (pH y humedad)**

Se realizó la correlación de Pearson entre la respiración de suelo con el pH y la humedad del suelo, entre las cuales no se encontró correlación. Quizá la razón es que las parcelas establecidas se encuentran dentro del mismo bosque lo que ocasiona que las características ambientales y otros parámetros se mantengan dentro de un rango moderado en todas las parcelas de estudio.

5.2. RESULTADOS PARA LOS PASTIZALES

El promedio de la humedad y la CC₆₀ % (Anexo 5) para los pastizales según las edades fue de:

Uso	Humedad %	CC ₆₀ %
Bosque	7,74	15,41
10 años	7,36	16,76
20 años	7,31	15,49
30 años	6,42	16,79

Tabla 7. Promedio de %H y CC₆₀ % de las cronosecuencias

La respiración de suelo en cada cronosecuencia (Anexo 5) tiene un promedio de:

Uso	SIR-biomass C ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
Bosque	1487,94
10 años	1045,75
20 años	1426,97
30 años	1645,45

Tabla 8. Promedio del SIR de las cronosecuencias

5.2.1. Análisis de las variables

- **Respiración de suelo entre la cronosecuencia**

Se encontró una diferencia significativa entre las cronosecuencias estudiadas ($p < 0,05$), en donde la mayor cantidad de respiración de suelo o del flujo de CO_2 se encontró en el pastizal de treinta años, siendo la edad de diez años en donde la respiración de suelo fue menor, manteniendo la tendencia a aumentar el flujo de CO_2 con las edades de los pastizales.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: LNSIR_1_10

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4,429 ^a	3	1,476	5,064	,002
Intercept	3311,099	1	3311,099	11356,125	,000
Uso	4,429	3	1,476	5,064	,002
Error	71,726	246	,292		
Total	3392,167	250			
Corrected Total	76,155	249			

a. R Squared = ,058 (Adjusted R Squared = ,047)

Tabla 9. Relación entre el SIR y las cronosecuencias

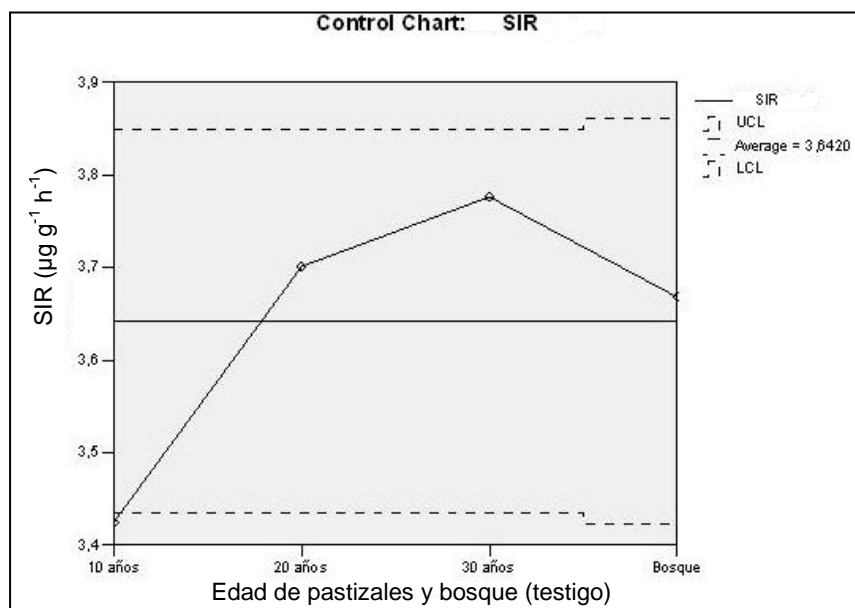


Figura 12. Correlación entre el SIR y las cronosecuencias

- **Relación entre el SIR y otros parámetros (pH y humedad)**

Se analizó la correlación entre la respiración de suelo con el pH y la humedad, en donde se encontró correlación ($r=0,001$) entre la respiración de suelo y el pH; siendo los pastizales de treinta años los que presentan una menor acidez, a diferencia del suelo de los bosques que indican ser más ácidos.

Correlations

		SIR_	pH
SIR_	Pearson Correlation	1	,217**
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	250	250
pH	Pearson Correlation	,217**	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	250	250

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabla 10. Relación de la respiración de suelo con el pH

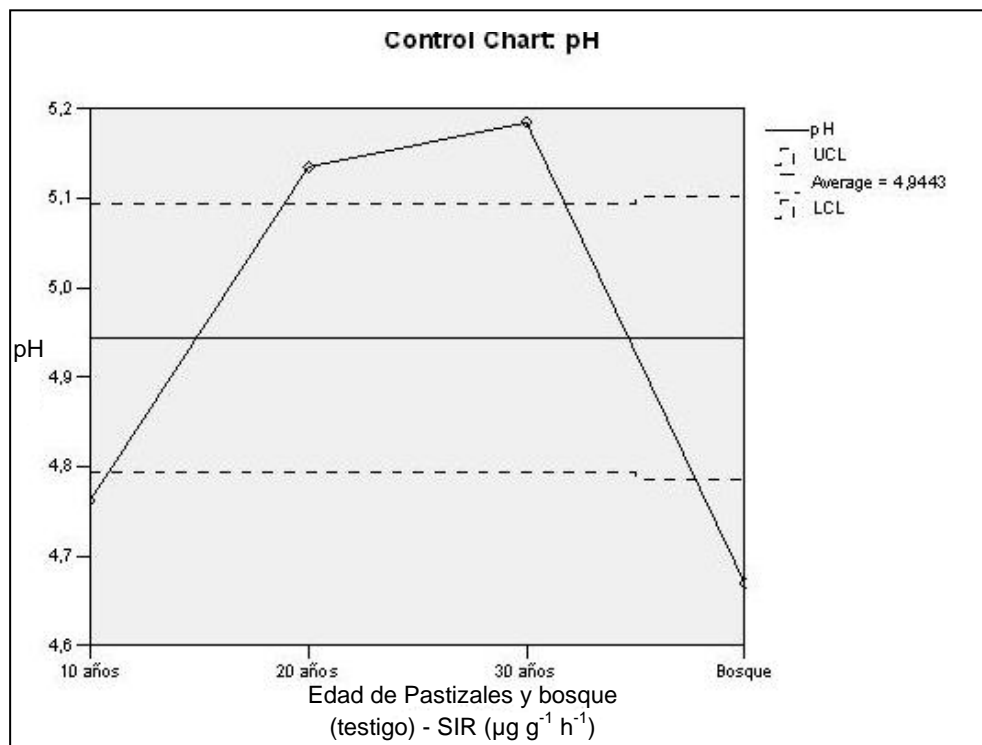


Figura 13. Correlación entre el SIR y el pH

Tanto la diversidad de organismos como la cantidad de biomasa microbiana disminuyen por el cambio de los ecosistemas naturales a los agroecosistemas; por lo que se considera que los bosques húmedos tropicales son grandes productores del flujo de CO_2

por la diversidad de microorganismos que presenta; sin embargo, en nuestro estudio, los pastizales que presentaron un mayor flujo de CO₂ son los de treinta años, esto puede deberse a que son zonas que luego de ser deforestadas, han estado expuestas a cambios de vegetación (pastos), de temperatura y humedad del suelo, en cuyas condiciones posiblemente se lograron adaptar mayor cantidad de microorganismos que contribuyen a conformar la biomasa total y por ende provocan una mayor respiración edáfica; ya que según Moreira *et al.* (2006), consideran que los cambios de las condiciones ambientales permiten que las especies existentes en un lugar se adaptan, se reemplacen o den lugar a la aparición de nuevas especies. Además, en estos pastizales también existe una gran cantidad de raicillas en la capa superior edáfica lo que ayudaría a una buena circulación del aire en el suelo y por ende a una mayor respiración; ya que según Feigl *et al.* (1995), las principales fuentes de emisión de CO₂ de los suelos de pastoreo son de mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) y la respiración de la raíz de la planta, lo que sugiere que la respiración de la raíz puede ser un factor importante para el CO₂ emitido por los pastos, y en sus estudios demuestra que el carbono derivado de los pastos viejos emite un 100 % del CO₂, mientras que el carbono de los pastos jóvenes emite un 70 % del CO₂.

Otro elemento para que los pastizales de treinta años presenten mayor flujo de CO₂ que los pastizales de menor edad, podría ser el pH, ya que los pastizales de treinta años son menos ácidos que los de veinte, y estos a su vez menos que los de diez años, ya que según Sitaula *et al.* (1995), la respiración de suelo disminuye en los suelos más ácidos. Un factor a considerar es que al momento de la conversión de bosque a pastizal se pudo dar algún tipo de quemadas, dando lugar a la presencia de cenizas provocando menor acidez en el suelo y por ende la muerte de microorganismos, según estudios realizados por Michelsen *et al.* (2004) en la existencia de carbono en pastos tropicales encontraron que las quemadas en estas áreas presentan índices bajos de respiración de suelo.

Los pastos de 10 años también pueden presentar menor flujo de CO₂ debido a que esta zona está relativamente iniciando un periodo de cambio de vegetación (bosque-pastos) y podrían presentar deficiencia del carbono; según Chone *et al.* (1991) consideraron que durante los primeros años de un pasto, existe incorporación de residuos de hierba procedentes principalmente de material foliar, pero conforme va aumentando la edad de los pastizales también va aumentando la proporción de material de raíz; aunque según

Murcia y Ochoa (2008) en los primeros años de un pastizal, va a existir un gran deterioro del horizonte orgánico del suelo del bosque nativo transformado, provocando una reducción de la respiración edáfica.

Tanto en el primero (bosque) como en el segundo objetivo (pastizales) no se encontró ninguna correlación entre la respiración de suelo y la humedad; aunque los pastizales de treinta años presentan el valor más bajo de humedad y el más alto de flujo de CO₂, lo que concuerda con Cueva (2004) que en su estudio encontró que la correlación entre el flujo de CO₂ y la humedad es inversamente proporcional y su relación es baja; de igual forma, los estudios realizados por Maddock *et al.* (2004) señalan que no existe una correlación entre estas variables ya que sus datos muestran que altos flujos de CO₂ de las pasturas son emitidos por los suelos secos. A diferencia de los estudios realizados por Feigl *et al.* (1995) en una zona húmedo tropical de Brasil encontraron una relación significativa entre la humedad del suelo y las emisiones de CO₂, siendo la humedad en los bosques más baja que en los pastos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La respiración de suelo fue independiente de la presencia de la cobertura vegetal, principalmente de la equitatividad existente en área de estudio.
- En el bosque de estudio, la humedad y el pH del suelo no influyeron en el flujo de CO₂, debido a que las condiciones en este medio fueron estables, manteniendo estas variables constantes en toda el área.
- Los flujos de CO₂ en la cronosecuencia de pastizales aumentó conforme a la edad de los pastizales; siendo menor en el de diez años, luego en el bosque (testigo), seguido del de veinte años, y finalmente el de treinta años con un mayor flujo de CO₂.

El mayor flujo de CO₂ se dio en el pastizal de treinta años, el cual presentó un menor porcentaje de humedad, sin embargo no se encontró correlación entre estas dos variables.

- Dentro de la cronosecuencia de pastizales se encontró que el pH influyó en el flujo de CO₂, es decir que mientras menos ácido fue el suelo, mayor fue flujo de CO₂.
- A pesar que el método del SIR no se pudo comparar con otros estudios, este ayudó a tener una perspectiva de la actividad microbiana que se está dando en un Bosque Siempreverde Montano Bajo.

6.2. Recomendaciones

- Analizar las muestras de suelo conforme sean tomadas para evitar que el suelo quede almacenado por mucho tiempo.
- Muestrear tanto en períodos de lluvia como de sequía, de tal manera que permita conocer la influencia de las condiciones ambientales sobre la respiración edáfica.

- Muestrear en la mañana y en la noche con el fin de analizar la respiración de suelo durante las variaciones del tiempo a lo largo del día.
- Medir la respiración de suelo en las zonas de estudio, a través de instrumentos de campo, de tal manera que permita establecer alguna correlación entre los métodos de medición de la actividad microbiana.
- Aplicar otros métodos que permitan conocer la actividad microbiana de estas zonas y a su vez permitan hacer una comparación entre estos.
- Como complemento al estudio, se debería realizar una investigación sobre la respiración de suelo como resultado de la rizósfera.
- Como un análisis adicional, se podría realizar la densidad aparente del suelo, de tal manera que permita conocer la cantidad de CO₂ que emiten a la atmósfera.
- Tener cuidado en el uso de materiales y equipos de laboratorio, especialmente asegurarse que estén bien limpios para evitar la reacción con otros reactivos que puedan alterar los resultados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J; Domsch, K. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. p. 58. Fuente principal: Kandeler, E. 2007. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In Eldor, P. ed. Soil Microbiology, ecology, and biochemistry. 3 ed. USA. Elsevier. p. 53-83
- Anderson, T; Joergensen, R. 1997. Relationship between SIR and FE estimates of microbial biomass C in deciduous forest soils at different pH. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Baquero, F; Sierra, R; Ordóñez, L; Tipán, M; Espinosa, L; Rivera, M; Soria, P. 2004. La Vegetación de los Andes del Ecuador: Memoria explicativa de los mapas de vegetación potencial y remanente de los Andes del Ecuador, a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAGRO/CDC-Jatun Sacha/División Geográfica-IGM. Quito. p. 56.
- Barrios, I. s.f. La edafología: origen, desarrollo y conceptos (en línea). Consultado 04 sep. 2009. Disponible en <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/vasconia/vas05/05087114.pdf>
- Beck, T; Joergensen, R; Kandeler, E; MAKESCHIN, F; NUSSE, E; OBERHOLZER, HR; SCHEU, S. 1997. An inter-laboratory comparison of ten different ways of measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem 27(7): 1023-132.
- Beck, T; Öhlinger, R; Baumgarten, A. 1995. Substrate-Induced Respiration. In Shinner, F; Öhlinger, R; Kandeler, E; Margesin, R. eds. Methods in Soil Biology. Springer.
- Benedetti, A; Dilly, O. 2006. Microbiological methods for assessing soil quality. London, UK, CABI. p.3-14.

- Binkley, D; Giardina, C. 1998. Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochem* 42:89-106.
- Buchman, N. 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1625-635.
- Bussmann, R. 2002. Estudio fitosociológico de la vegetación en la Reserva Biológica San Francisco (ECSF) Zamora Chinchipe. Loja, EC Herbario Loja. Departamento de Botánica y Ecología no. 8: 1-6.
- Castro, L. 1995. Efecto del uso agrícola sobre los contenidos de biomasa microbiana de ultisoles y andisoles de Costa Rica. *Agronomía costarricense* 19 (12): 59-65.
- Cheng, W; Coleman, D. 1989. A simple method for measuring CO₂ in a continuous air-flow systems: modification to the substrate-induced respiration technique. *Soil Biochem.* Vol. 21 No 3. pp. 385-388. Fuente principal: Krebs, L. 2003. Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura: I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono. Tesis Mag. Sc. Guayaquil, EC, ESPOL. 67p.
- Chiriboga, C. 2008. Medida de la respiración del suelo y determinación de biomasa de pastos activos y pastos abandonados. Tesis, Ing. Loja, EC, UTPL. 66p.
- Chone, T; Andreux, F; Conea, J; Volkoff, B; Cerri, C. 1991. Changes in organic matter in an oxisol from the central Amazonian forest during eight years as pasture, determined by ¹³C composition. In Berthelin, J ed. *Diversity of Environmental Biogeochemistry* p. 307-405. Elsevier, NY
- CORDELIM. 2008. Calentamiento global (en línea). Ecuador. Consultado 30 jul. 2009. Disponible en: www.cordelim.net/cordelim.php?c=402
- Coyne, M. 2000. *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Madrid, ES, Paraninfo. 416p.
- Cueva, V. 2004. Determinación de la respiración total de suelos entres bosques tropicales: Parque Nacional Podocarpus (Bombuscaro y Cajanuma) y en el

bosque de la Estación científica San Francisco (ECSF). Tesis. Ing. Loja, EC, UTPL. 105p.

- Dilly, O. 2006. Estimating Soil Microbial Activity. In Bloem, J; Hopkins, D y Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 114-116.
- Dinesh, R; Ghoshal, S; Ganeshamuythy, A; Dey, Ch. 2003. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. *Applied Soil Ecology* 24:17–26.
- Doran, J; Parkin, T. 1994. Deining Soil quality for a sustainable environment: Defining and assessing soil quality. Eds. JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek; BA Stewart. p. 5-6
- Ecoportal; BBC Mundo; Unión Radio; Prensa latina. 2004. Calentamiento global. ¿Se nos viene una catástrofe mundial? (en línea). Consultado 28 sep. 2009. Disponible en <http://www.familia.cl/ContenedorTmp/Calentamiento/calentamiento.htm>
- Enger, E; Smith, B. 2006. Ciencia Ambiental: un estudio de interrelaciones. Trad. NA Moreno; EM Jasso. 10 ed. McGraw-Hill Interamericana. 504p.
- Enkerlin, EC; Mier, R. 1997. Suelo y agua. In Enkerlin, EC; Cano, G; Garza, RA; Vogel, E. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. eds. International Thomson. 666p.
- Erickson, J. 1994. El efecto invernadero: el desastre de mañana, hoy. Trad. I Español; RM Arce. McGraw-Hill Interamericana. 217p.
- Feigl, BJ; Steudler, PA; Cerri, CC. 1995. Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondônia, Brazil. *Biogeochemistry* 31: 1-14.
- Fisher, M. 1998. La capa de ozono: la tierra en peligro. McGraw-Hill Interamericana. 84p.

- Fliebbach, A; Widmer, F. 2006. Estimating soil microbial biomass. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London. UK. p. 50-62.
- Gallardo, M. 2009. Causas del cambio global climático: calentamiento global y efecto invernadero (en línea). Chile. Consultado 31 jul. 200. Disponible en <http://www.cambioclimaticoglobal.com/causas.html>
- García, C; Gil, F; Hernández, T; Trasar, C. (Eds). 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medidas de actividades enzimáticas y biomasa microbiana (en línea). España, Mundi-Prensa. 371p. Consultado 04 sep. 09. Disponible en http://books.google.com.ec/books?id=p9yfvDILqEAC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false
- Heinemeyer, O; Insam, H; Walenzik, G. 1989. Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infra-red gas analysis. Plant and Soil 116: 191-195.
- Heinrich, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 117-126.
- Höper, H; Kleefisch, B. 2001. Untersuchung bodenbiologischer parameter im rahmen der bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Ianiszewski, J. 2007. Efectos del calentamiento global (en línea). Consultado 31 jul. 2009. Disponible en <http://www.circuloastronomico.cl/eco/gases.html>
- IEM (INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERÍA). 1986. Compilado del IGM. Paquisha, escala 1:100000, hoja 76. Zamora Chinchipe. Ecuador.

- Joergensen, RG; Brookes, PC. 2005. Quantification of soil microbial biomass by fumigation-extraction. In Margesin, R; Schinner, F. eds. Manual of soil analysis: monitoring and assessing soil bioremediation. Springer, Innsbruck, AU. vol. 5. p. 281-295.
- Johansson, M; Pell, M; Stenström, J. 1998. Response of soil microorganisms to the addition of carbon, nitrogen and phosphorus in a forest Rendzina. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Kaiser, E; Muller, T; Joergensen, R; Insam, H; Heinemeyer, O. 1992. Evaluation of methods to estimate the soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Kandeler, E. 2007. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In Eldor, P. ed. Soil Microbiology, ecology, and biochemistry. 3 ed. USA. Elsevier. p. 53-83.
- Körner, C. 2000. Biosphere responses to CO₂ enrichment. Ecological Applications. 10:1590-1616.
- Krebs, L. 2003. Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura: I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono. Tesis Mag. Sc. Guayaquil, EC, ESPOL. 67p.
- Lin, Q; Brookes, P. 1996. Comparación of methods to measure microbial biomass in unamended, ryegrass-amended and fumigated soils. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Luo, Y; Zhou, X. 2006. Soil respiration and the environment. Estados Unidos, Elsevier. 316p.
- Maddock, J; Santos, M; Alves, S; Machado, P. 2004. Soil respiration and carbon storage of an acrisol under forest and different cultivations in Rio de Janeiro State, Brazil. Environment, Development and Sustainability 6: 175-182.

- Maza, H; Muñoz, F. 2004. Problemas y oportunidades de los recursos naturales renovables y de la agroforestería de la Región Amazónica Ecuatoriana. UNL-PROMSA. 156p.
- Michelsen, A; Andersson, M; Jensen, M. 2004. Carbon stocks, soil respiration and microbial biomass in fire-prone tropical grassland, woodland and forest ecosystems. *Soil Biology y Biochemistry* 36: 1707–1717
- Montagnini, F; Jordan, CF. 2005. *Tropical forest ecology: the basis for conservation and management*. Springer. 295p.
- Mora; J. 2006. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo (en línea). Consultado 20 ene. 2009. Disponible en http://lunazul.ucaldas.edu.co/index2.php?option=com_content&task=view&id=223&l
- Moreira, F; Siqueira, J; Brussard, L. 2006. Soil organisms in Tropical Ecosystems: a key role for Brazil in the global quest for the conservation and sustainable use of biodiversity. In Moreira, F; Siqueira, J; Brussard, L. eds. *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems*. London, UK, CABI. p. 1-12.
- Murcia, MA; Ochoa, MP; 2008. Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río pamplonita, COLOMBIA. *Caldasias* 30(2):337-353.
- Nsabimana, D; Haynes, R; Wallis, F. 2004. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Applied Soil Ecology* 26: 81–92.
- Oberholzer, H; Höper, H. 2001. Reference systems for the microbiological evaluation of soil. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Palacios, W. 1995. Cuenca del Río Nangaritzza. Cordillera del Cóndor, una zona para conservar. Herbario Nacional del Ecuador. Quito, EC, QCNI. p. 93-100

- Palacios, W; Jaramillo, N. s.f. Riqueza florística y forestal de los bosques tropicales húmedos del Ecuador e implicaciones para su manejo (en línea). Consultado 03 sep. 2009. Disponible en <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev36/Pagina46-50.pdf>
- Pell, M; Stenström, J; Granhall, U. 2006. Soil Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 117-126.
- Plaster, E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Trad. P Scott. España, Paraninfo. 419p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente); OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2003. Cambio climático 2001: Informe de síntesis, Grupo Internacional de expertos y cambio climático. 207p.
- Raich, J. 1998. Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rain forests. *ELSEVIER y Forest Ecology and Management* 107: 309–318. Disponible en www.eeob.iastate.edu/faculty/RaichJ/Pubs/Raich1998FEM.pdf
- Raich, J; Schlesinger, W. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relation to vegetation and climate. *Tellus* 44B:81-99.
- Riera, F. 2008. Relación entre los Macro-nutrientes del suelo y la vegetación arbórea (≥ 2 cm a ≤ 10 cm DAP) en un bosque siempreverde piemontano, en el sector Mutintza, cantón Yanzatza, provincia de Zamora Chinchipe. Tesis Ing. Agropecuaria. Loja. EC. UTPL.
- Robles, M. 2009. Estudio de la materia orgánica en una cronosecuencia de pastizales en los cantones Centinela del Cóndor y Yanzatza de la provincia de Zamora Chinchipe. Tesis Ing. Loja, EC, UTPL.
- Ryan, M; Law, B. 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry* 73: 3–27
- Schinner, F; Öhlinger, R; Kandeler, E; Margesin, R. 1996. *Methods in soil biology*. Springer. Germany. p. 93 – 95.

- Schloter, M; Munch, J; Tittarelli, F. 2006. Managing soil quality. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 50-62.
- Sierra, R. (Ed). 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF y EcoCiencia. Quito, EC, Editorial Universitaria UTPL-Loja.
- Silver, W. 1998. The potential effects of elevated CO₂ and climate change on tropical forest soils and biogeochemical cycling. *Climatic Change* 39: 337–361.
- Sitaula, B; Bakken, L; Abrahamsen, G. 1995. N-fertilization and soil acidification effects on N₂O and CO₂ emission from temperate pine forest soil. *Soil Biology y biochemistry* p. 108. Fuente principal: Sánchez, L. 2008. Mitigation strategies for nitrous oxide emissions based on fertilization management of irrigated crops in a mediterranean climate. Tesis Mag. Sc. Madrid, SP, UPM. 218p.
- Stallings, J. 1985. El suelo: su uso y su mantenimiento. Trad. C Sevillano. CEC S.A. México. 420p.
- Trumbore, S. 2006. Carbon respired by terrestrial ecosystems – recent progress and challenges. *Global Change Biology* 12: 141-153.
- Turco, R; Kennedy, A; Jawson, M. 1994. Soil quality for a sustainable environment: Microbial indicators of soil quality. Eds. JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek; BA Stewart. p. 73.
- UPM (Universidad Politécnica de Madrid). 2006. Cuaderno de prácticas de Edafología. 40p.
- Valarezo, C. 2004. Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la región amazónica ecuatoriana y bajo sistemas agroforestales. UNL-PROMSA. Loja, EC. 141p.
- Valarezo, C; Iñiguez, M; Guaya, P; Valarezo, L. 1998. Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador. Loja, EC. 227p.

- Varela, F. 2005. ¿Qué es calentamiento global? (en línea). Consultado 11 may. 2009. Disponible en http://sepiensa.org.mx/contenidos/2005/l_calenta/calentamiento_1.htm
- Wilke, B; Winkel, B. 2000. Einsatz mikrobiologischer methoden in der bewertung sanierter böden und der ökotoxikologie. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Winkel, B; Wilke, B. 1997. Wirkung von TNT (2,4,6 trinitrotoluol) auf bodenatmung und Nitrifikation. Fuente principal; Höper, H. 2006. Substrate-induced Respiration. In Bloem, J; Hopkins, D; Benedetti, A. eds. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. London, UK, CABI. p. 84-92.
- Zambrano, O; 2005. Derecho ambiental: texto de estudio para la cátedra. Quito, EC. CLD. 382p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. TABLA DEL ESTUDIO DE LA EQUITATIVIDAD DE CADA PARCELA UBICADA EN EL BOSQUE DE MUTINTZA-YANZATZA

N° muestra	N° sp.	Equitatividad
1	29	0,397
2	48	0,774
3	33	0,740
4	36	0,796
5	38	0,637
6	26	0,713
7	29	0,730
8	23	0,696
9	28	0,536
10	18	0,677
11	31	0,777
12	25	0,722
13	33	0,487
14	46	0,751
15	33	0,851
16	26	0,967
17	17	0,903
18	19	0,758
19	26	0,750
20	47	0,799
21	35	0,613
22	25	0,794
23	11	0,947
24	35	0,569
25	15	0,596
26	17	0,425
27	25	0,727
28	22	0,861
29	23	0,808
30	21	0,854
31	29	0,791
32	24	0,661
33	20	0,750
34	26	0,692
35	29	0,734
36	22	0,878
37	20	0,760
38	37	0,699
39	42	0,711
40	34	0,762
41	36	0,717
42	25	0,707
43	42	0,779
44	29	0,656
45	24	0,779
46	25	0,528
47	24	0,786
48	35	0,758
49	49	0,706

Anexo 2. TABLA DE LA COBERTURA VEGETAL DEL BOSQUE DE MUTINTZA-YANZATZA

- Estrato arbóreo

Familia	Especie
ANNONACEAE	<i>Guatteria</i> sp.
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma</i> sp.
APOCYNACEAE	<i>Himatanthus bracteatus</i>
AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex</i> sp.
ARALIACEAE	<i>Dendropanax</i> sp.
ARALIACEAE	<i>Iriartea deltoidea</i>
ARECACEAE	<i>Wettinia maynensis</i>
BORAGINACEAE	<i>Cordia nodosa</i>
CARICACEAE	<i>Jacaratia</i> sp.
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp.
CECROPIACEAE	<i>Pourouma bicolor</i>
CECROPIACEAE	<i>Pourouma</i> sp.
CLUSIACEAE	<i>Chrysochlamys</i> sp.
CLUSIACEAE	<i>Tovomita</i> sp.
CLUSIACEAE	<i>Tovomita weddelliana</i>
CYATHEACEAE	<i>Cyathea</i> sp.
EUPHORBIACEAE	<i>Alchornea glandulosa</i>
EUPHORBIACEAE	<i>Alchornea</i> sp.
EUPHORBIACEAE	<i>Caryodendron orinocense</i>
EUPHORBIACEAE	<i>Caryodendron</i> sp.
FABACEAE	<i>Dussia</i> sp.
FLACOURTIACEAE	<i>Banara guianensis</i>
LAURACEAE	<i>Lauraceae</i>
LAURACEAE	<i>Nectandra reticulata</i>
LAURACEAE	<i>Nectandra</i> sp.
LAURACEAE	<i>Persea caerulea</i>
LAURACEAE	<i>Persea</i> sp.
LECYTHIDACEAE	<i>Grias peruviana</i>
LECYTHIDACEAE	<i>Gustavia</i> sp.
MELASTOMATACEAE	<i>Bellucia pentamera</i>
MELASTOMATACEAE	<i>Blakea</i> sp.
MELASTOMATACEAE	<i>Graffenrieda</i> sp.
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia calvescens</i>
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia</i> sp.
MELIACEAE	<i>Guarea kunthiana</i>
MELIACEAE	<i>Guarea</i> sp.
MIMOSACEAE	<i>Inga</i> sp.

Familia	Especie
MONIMIACEAE	<i>Mollinedia</i> sp.
MORACEAE	<i>Batocarpus orinocensis</i>
MORACEAE	<i>Batocarpus</i> sp.
MORACEAE	<i>Clarisia racemosa</i>
MORACEAE	<i>Ficus apollinaris</i>
MORACEAE	<i>Ficus</i> sp.
MORACEAE	<i>Helicostylis</i> sp.
MORACEAE	<i>Morus insignis</i>
MORACEAE	<i>Poulsenia armata</i>
MORACEAE	<i>Sorocea</i> sp.
MYRISTICACEAE	<i>Otoba parvifolia</i>
MYRISTICACEAE	<i>Otoba</i> sp.
MYRISTICACEAE	<i>Virola</i> sp.
MYRTACEAE	<i>Eugenia orthostemon</i>
MYRTACEAE	<i>Eugenia</i> sp.
NYCTAGINACEAE	<i>Guapira</i> sp.
OLACACEAE	<i>Heisteria</i> sp.
POLYGONACEAE	<i>Triplaris cumingiana</i>
RUBIACEAE	<i>Bathysa</i> sp. 1
RUBIACEAE	<i>Bathysa</i> sp. 2
RUBIACEAE	<i>Coussarea</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Elaeagia</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Elaeagia karstenii</i>
RUBIACEAE	<i>Elaeagia utilis</i>
RUBIACEAE	<i>Joosia aequatoria</i>
RUBIACEAE	<i>Joosia</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Ladenbergia oblongifolia</i>
RUBIACEAE	<i>Ladenbergia</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Palicourea guianensis</i>
RUBIACEAE	<i>Remijia</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Sommeria sabiceoides</i>
SAPOTACEAE	<i>Micropholis guyanensis</i>
SAPOTACEAE	<i>Pouteria</i> sp.
STERCULIACEAE	<i>Herrania</i> sp.
VIOLACEAE	<i>Leonía crassa</i>
VIOLACEAE	<i>Leonía glycyarpa</i>

- Estrato arbustivo

Familia	Especie
EUPHORBIACEAE	<i>Acalypha diversifolia</i>
MELASTOMATAACEAE	<i>Axinaea</i> sp.
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia rivetii</i>
MYRSINACEAE	<i>Parathesis adenanthera</i>
OCHINACEAE	<i>Ouratea</i> sp.
PIPERACEAE	<i>Piper bogotense</i>
PIPERACEAE	<i>Piper cuspidispicum</i>
PIPERACEAE	<i>Piper maranyonense</i>
PIPERACEAE	<i>Piper</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Faramea</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Hamelia patens</i>
RUBIACEAE	<i>Hippotis brevipes</i>
RUBIACEAE	<i>Palicourea myrtifolia</i>
RUBIACEAE	<i>Palicourea</i> sp.
RUBIACEAE	<i>Psychotria brachiata</i>
RUBIACEAE	<i>Psychotria</i> sp.
SOLANACEAE	<i>Cuatresia cuspidata</i>
VERBENACEAE	<i>Aegiphila</i> sp.

- Estrato herbáceo

Familia	Especie
PTERIDACEAE	<i>Adiantum macrophyllum</i>
PTERIDACEAE	<i>Adiantum pulverulentum</i>
ARACEAE	<i>Anthurium</i> sp.
CYCLANTHACEAE	<i>Asplundia</i> sp.
ARACEAE	<i>Caladium</i> sp.
COSTACEAE	<i>Costus scaber</i>
MARATTIACEAE	<i>Danaea elliptica</i>
MARATTIACEAE	<i>Danaea moritziana</i>
MARATTIACEAE	<i>Danaea nodosa</i>
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Dennstaedtia bipinnata</i>
DRYOPTERIDACEAE	<i>Diplazium macrophyllum</i>
DRYOPTERIDACEAE	<i>Diplazium</i> sp.
GESNERIACEAE	<i>Gasteranthus</i> sp.
HELICONIACEAE	<i>Heliconia</i> sp.
MENDONIACEAE	<i>Mendoncia glabra</i>
ARACEAE	<i>Philodendron</i> sp.
PTERIDACEAE	<i>Pteris</i> sp.
DRYOPTERIDACEAE	<i>Tectaria incisa</i>
ARACEAE	<i>Xanthosoma atrovirens</i>

Anexo 3. PRUEBAS DE GLUCOSA Y TIEMPO DE INCUBACIÓN

Cant. Glucosa	Muestra	Tiempo									
		0:00	30min	30min	30min	30min	30min	30min	30min	45min	45min
	Blanco	11,62	11,36	11,13	10,93	10,72	10,54	10,23	10,04	9,94	9,79
1	Z1P1M2	0,00	0,12	0,16	0,35	0,45	0,61	0,74	1,06	1,32	1,59
2		0,00	0,35	0,50	0,60	0,63	0,77	0,79	0,89	1,05	1,22
3		0,00	0,23	0,23	0,37	0,44	0,50	0,56	0,72	0,78	0,91
1	Z1P1M4	0,00	0,17	0,30	0,45	0,58	0,72	0,91	1,10	1,20	1,50
2		0,00	0,19	0,20	0,25	0,35	0,47	0,56	0,72	0,80	0,96
3		0,00	0,18	0,19	0,27	0,34	0,42	0,54	0,61	1,73	0,98
1	Z1P3M3	0,00	0,17	0,29	0,46	0,62	0,81	1,14	1,45	1,67	2,03
2		0,00	0,24	0,37	0,52	0,67	0,91	1,67	1,90	2,15	2,57
3		0,00	0,23	0,34	0,49	0,68	1,01	1,18	1,40	1,67	2,05

Anexo 4. DATOS DE %H, %CC, SIR Y pH* PARA EL BOSQUE

Filas	Parcela	N° de muestra	Humedad % Prom.	CC ₆₀ % prom	SIR-biomass C ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	pH*
Fila 1	1	1	11,76	14,10	6258,05	5,66
Fila 1	2	2	11,02	17,72	2558,34	5,44
Fila 1	3	3	12,59	14,24	595,77	5,35
Fila 1	4	4	7,99	16,75	2255,53	6,67
Fila 1	5	5	7,06	13,13	3097,82	7,30
Fila 1	6	6	12,49	15,08	1475,53	6,35
Fila 1	7	7	9,30	16,67	980,43	6,48
Fila 2	1	8	13,20	14,57	2325,46	6,16
Fila 2	2	9	13,79	17,03	2408,79	6,16
Fila 2	3	10	10,21	15,74	1970,34	6,15
Fila 2	4	11	10,20	16,22	1905,67	6,19
Fila 2	5	12	5,25	16,91	3404,29	6,00
Fila 2	6	13	10,34	15,61	2085,91	6,56
Fila 2	7	14	7,51	16,75	2177,50	6,39
Fila 3	1	15	13,14	14,60	3490,09	4,30
Fila 3	2	16	9,11	15,82	1790,64	5,12
Fila 3	3	17	5,99	15,00	1194,55	4,95
Fila 3	4	18	14,73	18,47	1735,88	6,17
Fila 3	5	19	13,02	16,24	1660,86	5,86
Fila 3	6	20	10,88	14,39	853,47	5,68
Fila 3	7	21	6,43	13,89	1399,32	5,78
Fila 4	1	22	10,91	14,21	485,85	4,17
Fila 4	2	23	11,31	18,07	685,40	4,50
Fila 4	3	24	7,20	16,93	1053,01	5,30
Fila 4	4	25	11,80	16,34	1486,52	3,94
Fila 4	5	26	7,48	15,24	2213,78	5,68
Fila 4	6	27	8,04	28,63	2013,37	4,36
Fila 4	7	28	9,98	12,67	2119,37	6,04
Fila 5	1	29	9,23	13,99	1368,96	5,10
Fila 5	2	30	7,98	12,58	1553,21	4,57
Fila 5	3	31	11,60	14,69	2705,88	5,42
Fila 5	4	32	7,86	13,40	1356,53	6,67
Fila 5	5	33	7,78	15,40	4307,50	5,56
Fila 5	6	34	8,45	17,74	982,42	6,89
Fila 5	7	35	11,23	14,47	956,98	6,32
Fila 6	1	36	6,72	14,52	170,94	5,02
Fila 6	2	37	8,16	15,32	1421,30	4,90
Fila 6	3	38	9,31	13,94	1621,28	5,75
Fila 6	4	39	5,80	12,14	1429,82	5,94
Fila 6	5	40	5,51	18,43	901,22	6,16
Fila 6	6	41	7,28	14,50	3148,01	6,01
Fila 6	7	42	3,87	14,82	1371,55	6,15
Fila 7	1	43	6,83	14,36	1036,25	5,71
Fila 7	2	44	11,24	16,11	720,04	5,03
Fila 7	3	45	13,19	15,18	1344,26	6,05
Fila 7	4	46	12,82	16,42	954,91	5,81
Fila 7	5	47	6,16	17,21	1518,62	5,97
Fila 7	6	48	10,72	16,24	1781,51	6,72
Fila 7	7	49	11,90	14,88	1602,11	6,41

*Los datos de pH son tomados de Riera Frank, 2008.

Anexo 5. DATOS DE %H, %CC, SIR Y pH PARA LOS PASTIZALES

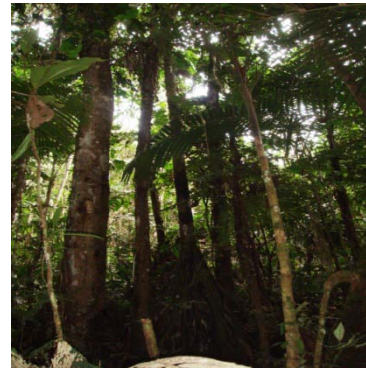
Zona	Cron.	Parcela	Humedad % Prom.	CC ₉₀ %_prom	SIR-biomass C (µg.g ⁻¹ .h ⁻¹)	pH
ZONA 1	Bosque	1	8.706	16.720	1621,900	4,323
		2	7.496	17.079	1825,214	4,590
		3	12,174	16,196	1002,578	4,523
		4	9,155	15,468	2531,572	4,460
	10 años	1	6,341	14,947	490,094	4,700
		2	8,435	46,801	1917,360	4,983
		3	9,237	15,684	2050,061	4,588
		4	7,022	16,354	1107,483	4,535
	20 años	1	8,437	15,183	1963,249	5,153
		2	11,861	17,029	2228,852	5,265
		3	11,282	18,029	1594,342	5,678
		4	7,652	16,333	2174,941	5,385
	30 años	1	5,412	15,955	1399,664	4,978
		2	11,816	15,590	2115,554	5,273
		3	7,092	16,088	1425,944	4,945
		4	8,901	15,688	1847,175	5,160
ZONA 2	Bosque	1	7.070	14.373	1703,608	5,143
		2	8,941	14,743	1680,912	4,833
		3	8,066	13,738	686,781	4,668
		4	8,204	11,462	2010,156	4,205
	10 años	1	11,062	13,268	986,562	4,265
		2	8,380	12,120	482,280	4,435
		3	10,535	12,049	1283,514	4,610
		4	8,411	14,053	1697,938	4,413
	20 años	1	8,168	13,130	791,051	4,538
		2	7,484	13,492	572,409	4,688
		3	7,678	13,199	418,729	4,235
		4	8,627	13,035	784,882	4,393
	30 años	1	6,755	14,806	1441,096	5,070
		2	5,005	14,214	786,496	5,175
		3	11,331	16,646	2118,433	4,713
		4	7,870	25,629	1368,021	4,943
ZONA 3	Bosque	1	5.150	15.819	1203,427	4,205
		2	3,745	19,152	402,582	4,295
		3	5,355	16,102	1046,352	4,148
		4	5,087	13,838	467,451	4,205
	10 años	1	4,426	13,569	1457,837	4,655
		2	5,647	12,933	558,739	4,595
		3	4,948	13,875	448,612	5,123
		4	6,163	13,373	553,574	5,128
	20 años	1	5,917	17,537	1918,014	4,960
		2	6,550	15,030	1211,498	5,005
		3	4,677	18,517	1287,086	5,238
		4	5,598	15,497	1304,525	5,343
	30 años	1	7,522	14,082	1010,018	5,478
		2	6,367	12,573	1394,832	5,193
		3	4,899	16,133	1629,607	5,245
		4	4,291	14,784	1206,091	5,290
ZONA 4	Bosque	1	11,19	15,09	984,13	4,93
		2	7,28	14,07	1475,78	5,94
		3	6,00	15,28	2046,86	5,28
		4	10,24	17,35	3117,80	5,62
	10 años	1	4,603	17,480	682,191	5,013
		2	7,589	16,595	725,937	4,993
		3	6,049	17,838	936,230	5,120
		4	8,887	17,155	1353,539	5,045
	20 años	1	5,441	14,481	1259,803	5,643
		2	8,587	13,926	1310,814	5,880
		3	4,600	14,485	2047,218	5,515
		4	4,407	18,926	1964,127	5,468
	30 años	1	3,527	24,087	2475,105	5,180
		2	3,509	18,265	2847,234	5,555
		3	4,276	16,435	2193,851	5,320
		4	4,209	17,746	1068,003	5,435

*Los datos de pH son tomados de Robles Martín, 2009

Anexo 6. Fase de campo



Bosque de Mutintza



Bosque de Mutintza



Pastizales en Nanguipa



Equipo de trabajo



Muestreo del suelo

Fuente: Jiménez, L. 2008.

Anexo 7. Fase de laboratorio



Pesado de 20 g de suelo



Pesado de 0,96 g
(glucosa+talco)



Mezcla del suelo + glucosa



Frascos incubados



Mezcla de NaOH con el BaCl

Fuente: La Autora



Antes de la titulación



Luego de la titulación

Fuente: La Autora