

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE DIOXIDO DE
CARBONO EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RELIEVE DEL
TERRENO, EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA, EL
PORCENTAJE DE CARBONO ORGANICO Y TEMPERATURA DEL
SUELO EN UNA FRACCIÓN DE UN BOSQUE HÚMEDO TROPICAL
DE LA ISLA BARRO COLORADO, PANAMÁ**

ANA GARAVITO

8-842-1461

PANAMÁ, PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2013



**DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE DIOXIDO DE
CARBONO EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RELIEVE DEL
TERRENO, EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA, EL
PORCENTAJE DE CARBONO ORGANICO EN UNA FRACCIÓN DE
UN BOSQUE HÚMEDO TROPICAL DE LA ISLA BARRO
COLORADO, PANAMÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TITULO DE ING EN MANEJO DE CUENCA Y AMBIENTE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE ING AGRÍCOLA

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. MSc. JESUS VASQUEZ _____
DIRECTOR

PROFA. MSc. LOURDES RUBATINO _____
ASESOR

PROF. MSc. DIMAS ARCIA _____
ASESOR



AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a la Universidad de Panamá por brindarme el apoyo y al Instituto Smithsonian de investigaciones Tropicales por prestarme sus instalaciones al Señor Paulino y Pablo por apoyarme indistintamente en mi trabajo de campo y a personas que indistintamente estuvieron apoyándome para hacer posible este trabajo.

Al profesor Jesús Vásquez por su colaboración y agradezco a distintas personas que me apoyaron a lo largo de este trabajo a Jacinto, thomas por colaborarme en la finalización de mi tesis.



DEDICATORIA

Le dedico especialmente este trabajo a Dios todopoderoso por darme la sabiduría y el entendimiento para culminar mis estudios universitarios.

A mi abuelo Efraín que desde el cielo me guio en el transcurso de mi trabajo, a mi abuela Socorro, a mi mama Socorro, a mi hermano José y a mi tío Efraín por su amor y apoyo; personas que sin duda estuvieron apoyándome en el transcurso de mi investigación.

S, Garavito, A, C. 2013. Determinación de la concentración de dióxido de carbono en el suelo y su relación con el relieve del terreno, el contenido de materia orgánica, porcentaje de carbono orgánico, temperatura del suelo en una fracción de un bosque húmedo tropical de la isla Barro Colorado. Tesis ING, Panamá. FCA, 72 pág.

RESUMEN

Palabras claves: materia orgánica, pendiente, temperatura del suelo, reservorio de carbono, calentamiento global, concentración de dióxido de carbono, carbono orgánico.

Las reservas de carbono en el suelo son de suma importancia como medida mitigante para almacenar carbono y así reducir las concentraciones de CO₂ a la atmosfera.

La sostenibilidad del planeta se encuentra amenazada por los diversos impactos negativos generados por las actividades humanas que cada día van de manera ascendente sin miras hacia el futuro, las graves consecuencias que traerá y una de esas es el calentamiento global de la tierra. La mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial consecuencia de cambio climático es una de los mayores retos de la actualidad.



El objetivo de esta investigación es determinar cómo está la concentración de CO₂ en el suelo de un bosque tropical húmedo y relacionándolo con diversos parámetros como lo son la pendiente del terreno, el contenido de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico y la temperatura del suelo. Primeramente para determinar la concentración de CO₂ y la temperatura del suelo se procedió a tomar mediciones en una parcela con el sensor Vaisala Carbo Cap, seguidamente para hacer las relaciones se midió la pendiente del área, se sacaron muestra de suelo y se analizaron en laboratorio para proveer información sobre el contenido de materia orgánica.

Los resultados sugieren que no hubo relación con todos los parámetros solo con la pendiente del terreno lo que se relaciona con la poca actividad biológica en la respiración del suelo.

Keywords: organic matter, slope, soil temperature, carbon reservoir, global warming, carbon dioxide concentration, organic carbon.

Summary

Carbon stocks in soil are very important as mitigating measures to store carbon and reduce the concentrations of CO₂ to the atmosphere.

The sustainability of the planet is threatened by various negative impacts generated by human activities each day are in ascending without a view to the future, which will bring serious consequences and one of those is the global warming of the earth. The mitigation of emissions of greenhouse gases and their potential effect of climate change is a major challenge today.

The objective of this research is to determine how is the CO₂ concentration in the soil of a tropical rainforest and relating to various parameters such as the slope, the content of soil organic matter, organic carbon and soil temperature.

First to determine the concentration of CO₂ and soil temperature proceeded to take measurements in a plot with the Vaisala sensor Carbo Cap, then for relations measured slope of the area, soil sample were taken and analyzed in the laboratory to providing information about the content of organic matter.

The results suggest that there was no relationship with all parameters only the slope which is related to the low biological activity in soil respiration.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL	Viii
ÍNDICE DE FIGURAS	Xi
ÍNDICE DE CUADROS	Xii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	Xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	Xiv
INTRODUCCIÓN	Xv

CAPITULO I :	1
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2.1 Calidad del suelo	6
1.2.2 Atmósfera del suelo	9
1.2.3 Bosque húmedo Tropical	10
1.2.4 Respiración del suelo	12
1.2.5 Influencia de la vegetación en el suelo	13
1.2.6 Materia orgánica del suelo	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 Objetivo	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO	16
1.4 HIPOTESIS	17
1.5 Alcances y limitaciones	17
CAPITULO 2 : REVISIÓN DE LITERATURA	18

2.1 CICLO DEL CARBONO	18
2.2 El CO ₂ atmosférico	20
2.3 PAPEL DE LOS SUELOS	21
2.4 COMO AYUDA EL CO ₂ AL SECUESTRO DE CARBONO	22
2.5 BOSQUES COMO SUMIDEROS NATURALES DE CO ₂	25
2.6 DEFORESTACION Y BALANCE DE CARBONO	26
2.7 RESERVORIOS DE CARBONO	26

CAPITULO 3 : METODOLOGIA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
3.2 MATERIALES	29
3.2.1 MATERIAL DE CAMPO	31
3.2.2 MATERIAL DE LABORATORIO	32
3.3 METODOS	32
3.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO	33
3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FLUJO	34
3.4 METODOLOGIA PARA LA FASE DE LABORATORIO	34
3.5 Análisis estadístico	36

CAPITULO 4 :RESULTADOS

4.1 DISCUSIÓN	39
	40
	55

5.0 CONCLUSIONES	59
6.0 RECOMENDACIONES	61
7.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
8.0 ANEXOS	70



ÍNDICE DE CUADROS	pág.
Cuadro 1. Variable según la pendiente del terreno.....	40
Cuadro 2. Variables según el contenido de materia orgánica y carbono orgánico.....	42
Cuadro 4. Areas medidas según la humedad de campo.....	44
Cuadro 3. Variables según la concentración de dióxido de carbono.....	45
Cuadro 4. Cuadro general con todas las variables.....	47
Cuadro 4 Clases de gradiente de pendiente.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Ciclo del carbono. Fuentes de emisión y sumideros de CO ₂	8
Fig. 2 Fuentes de Respiración del suelo.....	11
Fig. 3 Distribución de la radiación de onda corta sobre la Tierra.....	23
Fig. 4 Reservorios terrestres de carbono.....	27
Fig. 5 Localización del área de estudio.....	30
Fig. 6 Sensor Vaisala Carbo. cap.....	32
Fig. 7 Anillo de medición y punto de muestreo	35
Fig. 8 Análisis de materia orgánica.....	37
Fig. 9. Titulación con solución ferrosa.....	37

ÍNDICE DE GRAFICAS

Graf .I Concentración de CO ₂ según el tipo de pendiente.....	49
Graf. II Porcentaje de materia orgánica según el tipo de pendiente.....	50
Graf. III porcentaje de carbono orgánico según el topo de pendiente.....	50
Graf IV Relación entre concentración de CO ₂ Y tipo de pendiente.....	51
Graf V Relación entre concentración entre concentración de CO ₂ y contenido de materia orgánica.....	49
Graf .VI Relación entre concentración de CO ₂ y porcentaje de carbono orgánico.....	52
Graf. VII Relación entre la concentración de CO ₂ y temperatura.....	53
Graf. VII Relación entre todos los parámetros.....	54

INDICE DE ANEXOS

Fig. 10. Procedimiento para tomar la muestra de suelo.....	70
Fig. 11. Pasos para medir la concentración de CO ₂ en los suelos.....	70
Fig. 12. Ubicación de los anillos de medición.....	71
Fig. 13. Aparato de medición automático de CO ₂ del suelo.....	72
Fig. 13. Procedimiento para el análisis de materia orgánica.....	72

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero utilizando el secuestro de carbono a través del suelo y la biomasa de las plantas es uno de los mayores retos de la actualidad.

El suelo desempeña un importante papel en el ciclo del carbono y puede representar una fuente importante de CO₂ a causa de la deforestación de los bosques que provoca el desequilibrio del ciclo del carbono. En el suelo, este gas se produce, a través del metabolismo de la micro flora, micro fauna 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 de este carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas.

Los flujos de CO₂ entre la atmósfera y el suelo cumplen una función clave en el funcionamiento del ciclo global del carbono, por lo que la perturbación de los procesos que los regulan puede modificar la concentración de CO₂ atmosférico. De hecho, entre las actividades que aumentan la emisión de este gas a la atmósfera destacan, los cambios de uso del suelo y su sobreexplotación como: los labores silvícolas y quema de los bosques.

El manejo forestal intensivo altera considerablemente las propiedades y condiciones ambientales del suelo (Munson et al., 1993; Merino et al., 1997), lo que puede repercutir en la actividad de los microorganismos (Bauhus et al; 1995) y, por consiguiente, en la descomposición de la materia orgánica (Cortina et al; 1994) y en la dinámica de CO₂ del suelo (Mattson, et al; 1989; Brume, 1995).

La minería a cielo abierto trae consecuencias graves al medio ambiente entre ellas la liberación de gases tóxicos a la atmósfera. Según estudios se estima que 20.000 Ton / año se liberan a la atmósfera. El cianuro de hidrógeno gaseoso se acumula en la atmósfera y probablemente contribuya a formar otros compuestos "de consecuencias impredecibles para el ambiente" provocando lo que hoy conocemos como efecto invernadero y adelgazamiento de la capa de ozono, productos de la emanación durante años de dióxido de carbono y cloro fluor carbonos (CFCs).

En Panamá, durante la quema de sabanas también se libera CH₄, N₂O, N₂ y CO. Estos gases son considerados como emisiones antropogénicas.

Las emisiones estimadas para los gases mencionados anteriormente procedentes de las quemas prescritas de sabanas son 1.1, 0.01, 1.1, 19.2 Gt (giga toneladas). En los ingenios azucareros del país, las emisiones más relevantes de CO para este subsector alcanzan 19,2 Gt (giga toneladas).

A partir de los resultados mostrados por parte del PINGEI (Programa nacional de gases de efecto invernadero), es previsible decir que, Panamá como país en

vías de desarrollo y dada las condiciones climáticas que lo caracterizan, es vulnerable a sufrir los estragos derivados del cambio climático.

Ahora sabemos que el desequilibrio en el ciclo del carbono ha creado trastornos en el clima de la tierra, los cuales son propiciados, principalmente, por los avances tecnológicos de la vida moderna (Enkerlin, 1997).

El almacenamiento al final del siglo XX era de 2000 giga toneladas de carbono en forma de materia orgánica es casi tres veces al CO₂ de la atmósfera y cuatro veces al CO₂ de la biomasa de las plantas. Aumentando el humus y la materia orgánica mejoraría la calidad del suelo y a la vez la cantidad de materia orgánica almacenada. (Wikipedia la enciclopedia libre, s.f)

Como un proceso clave del ecosistema, la respiración del 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).

En la actualidad no existen estudios en Panamá investigativos de la concentración de dióxido de carbono en el suelo y su relación con la pendiente del terreno, el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y temperatura del suelo, en una fracción de un bosque húmedo tropical. Esto es porque hay grandes lagunas en cuanto a la comprensión de temas como lo son las reservas de carbono forestales, a corto y a largo plazo por ello se da un inicio con esta tesis de grado, para que se siga investigando sobre este tema de gran relevancia.

A manera de aporte se sabe que la evaluación de las reservas de carbono bajo tierra (provisión de carbono), específicamente bajo el suelo de los bosques tropicales son similares en magnitud y variabilidad a la provisión de carbono sobre el suelo, debido a que las acciones sobre él tienen el potencial de ser alteradas significativamente por el cambio climático, y otros efectos antropogénicos.

Todo este proceso debe ser equilibrado, es decir, los reservorios no deben acumular más carbono del que pueden reciclar. En la atmósfera la acumulación de CO₂ ha producido el calentamiento de la superficie terrestre.

En los próximos 25 años, para estimar el potencial de captura de carbono en los suelos bajo distintos escenarios (Batjes, 1999) será necesario distinguir dos aspectos: cuál es la existencia original de carbono en el suelo y cuáles son los cambios en las existencias de carbono para futuras investigaciones.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Calidad del suelo

Según Schloter *et al.* (2006), la calidad del suelo 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.

Distintas investigaciones dan muestra de la importancia de determinar la concentración de dióxido de carbono en el suelo y su relación con la pendiente del terreno, contenido de materia orgánica, porcentaje de carbono orgánico y temperatura:

De hecho, un estudio reciente encontró una fuerte disminución en carbono bajo el suelo en el Reino Unido, debido al cambio del clima, sin embargo, el carbono bajo el suelo muy poco se ha medido en los bosques tropicales en general, y se mantiene sin examinar en sitios CTFS (Centro forestal del Trópico) en particular; así actualmente hay muy poco conocimiento de los patrones de variación en el carbono bajo el suelo y sus determinantes, no hay ninguna posibilidad de detectar posibles cambios en esta gran importante reserva de carbono en el suelo (Muller,2008).

Como parte de la HSBC Climate Partnership, el Centro de Ciencias Forestales del Trópico del Instituto Smithsonian de investigaciones tropicales está estudiando el carbono del suelo en los bosques en Europa, Asia y las Américas. Los resultados ayudarán a los científicos a comprender los mecanismos y

procesos de control de la cantidad de carbono almacenado en los suelos de los bosques tropicales y cómo cambios en el clima mundial podría afectar su capacidad para almacenar carbono. (Muller, 2008).

El ritmo el cual el dióxido de carbono del suelo que se transfiere a la atmosfera está determinado por:

- La tasa de producción de dióxido de carbono del suelo (respiración del suelo).
- La fuerza de gradiente de concentración entre el suelo y la atmosfera.
- Las propiedades del suelo.

El suelo es el segundo reservorio de materia orgánica en importancia en el planeta después de los océanos. De hecho, sólo en la Unión Europea (UE) hay más de 70000 millones de toneladas de carbono orgánico en el suelo.

El flujo de CO₂ del suelo es el factor principal del balance de carbono en los ecosistemas forestales y representa 60-80 % de la respiración total del ecosistema (VALENTINI et *al.*, 2000; XU & QI, 2001).

1.2.2 Atmosfera del suelo

El contenido en oxígeno del aire del suelo oscila entre el 10 % y el 20 % y nunca alcanza el 21 % del aire atmosférico. La discrepancia mayor entre ambos gases se encuentra en el contenido en dióxido de carbono en el cual el aire del suelo contiene, como mínimo, diez veces más que el atmosférico oscilando entre el 0.2

% y el 3.5 %, (Toribio, 1996) comparado con el 0,03% existente en el aire, (Seoáñez, 1998).

La concentración de CO₂ en el suelo está determinada por (1) su producción, y (2) su transporte.

1. El CO₂ del suelo, es el producto principal de la respiración de las raíces de las plantas y los microbios del suelo. Su proporción de producción en el suelo y su intercambio con la atmósfera es de alto interés para los científicos con respecto al ciclo global del carbón, porque las fuentes del suelo comprenden aproximadamente un 25% del flujo total a la atmósfera.
2. Las relaciones de intercambio o transporte hacia la atmósfera pueden ser a través de dos tipos de procesos: mediante convección o mediante difusión.

Procesos de convección: Son procesos durante los cuales se produce una transferencia de masa de aire desde el suelo hacia el exterior, o a la inversa. Durante dichos procesos se produce una evacuación de parte de la mezcla de gases que constituye la fase gaseosa del suelo, que es sustituida por un volumen parecido procedente de la atmósfera. Estos procesos son originados por múltiples factores como variación en la humedad del suelo, alteración de la presión barométrica y de la temperatura del aire y la influencia del viento. (Seoáñez, 1998).

Procesos de difusión: Son fenómenos mediante los cuales se produce una homogenización de dos mezclas de gases en contacto directo, que se encuentran en reposo. En la fase gaseosa del suelo, el desarrollo de este proceso es análogo a los que ocurren en la fase líquida, aunque la intensidad con que se produce es menor, debido a la saturación de los poros del suelo. Los procesos de difusión se producen de forma continua en presencia de gradientes de concentración, de forma que son los responsables de la semejanza entre las capas mas superficiales del suelo y la atmósfera (Seoánez, 1998).



Figura 1. Ciclo del carbono. Fuentes de emisión y sumideros de CO₂ Fuente (Wikipedia , La Enciclopedia libre, 2013).

1.2.3 Bosque húmedo tropical

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 carbono almacenado en los árboles es liberado hacia la atmósfera (Montagnini y Jordán, 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 carbono presente en las raíces varía entre los tipos de bosque y en respuesta de los diferentes factores ambientales (Raich, 1998).

Los bosques tropicales juegan un rol importante en el almacenamiento del carbono global, pues contienen grandes cantidades de éste en la vegetación y el suelo, equivalentes al 37% de los compartimentos terrestres globales de carbono. Igualmente, se ha estimado que estos bosques representan un sumidero de carbono de 1-3 Pg. (giga toneladas) C año⁻¹, pero a la vez, dichos ecosistemas son una fuente de 3 Pg. C año⁻¹ a causa de la deforestación y la degradación de los bosques (Malhi y Grace, 2000).

Así mismo, en los bosques y sabanas tropicales se han encontrado las más altas tasas de respiración del suelo (Singh y Gupta, 1977; Raich y Schlesinger, 1992; Raich, Potter y Bhagawati, 2002). Es por ello que un incremento en la emisión de CO₂ desde los suelos de estos ecosistemas, también tiene el potencial para incrementar considerablemente los niveles de CO₂ atmosférico y producir una retroalimentación positiva del calentamiento global (Raich y Tufekcioglu, 2000; Fang y Moncrieff, 2001; Raich, Potter y Bhagawati, 2002). 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.

1.2.4 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 (Ryan y Law, 2005; Trumbore, 2006).

La respiración edáfica es un proceso ecológico que se reconoce como la principal fuente de flujo de carbono (Pellet *al.*, 2006) procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger, 1992) fig. 4. También es 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 macro organismos como lombrices de tierra, nematodos e insectos (Achinar *et al.*, 1996; García *et al.*, 2003; Pellet *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).

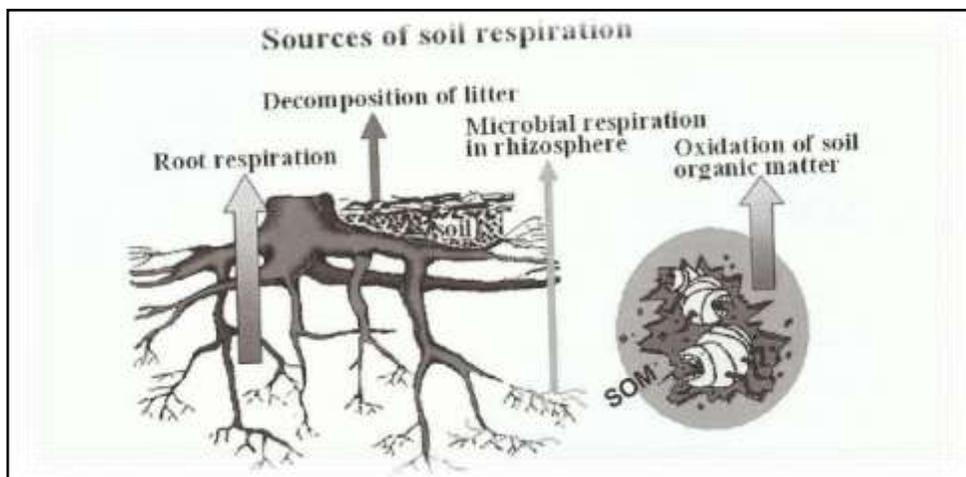


Fig.4 Fuentes de Respiración del suelo Fuente: (Luo y Xuhui. 2006)

1.2.5 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 al micro flora y micro fauna.

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 Jordán, 2005).

Yan et al. (2006) reportaron un valor de 11.48 C t.ha-1.año-1 en un bosque subtropical de latifoliadas con clima monzónico en el sur de China (técnica de cromatografía de gases). Mediante el uso de soda lime, Raich (1998) halló valores aún más bajos, desde 6.5 hasta 8.9 C t.a-1.año-1 en bosques tropicales lluviosos en Hawái.

Otros estudios han mostrado que la RS (respiración del suelo) varía considerablemente entre distintos tipos de vegetación y ha sido positivamente correlacionada con la productividad primaria neta (PPN) y la producción de

Hojarasca en los bosques (Raich, Schlesinger, 1992; Raich, 1998; Raich, Tufekcioglu, 2000; Adachi et al., 2006).

1.2.6 Materia orgánica del suelo

La materia orgánica representa, aproximadamente, el 5% en el volumen de un suelo ideal. A pesar de ser un porcentaje relativamente pequeño, su presencia es altamente importante en el crecimiento de las plantas. La adición de residuos orgánicos al suelo, provenientes de plantas y animales;

su posterior descomposición por los microorganismos, establecen dos procesos que determinan el nivel al cual se acumula materia orgánica en los suelos.

Existen factores que determinan la distribución de la MO (materia orgánica) en el perfil del suelo:

A) Tipo de vegetación: Las raíces de las gramíneas son fuente importante de MO la cual se concentra en la horizonte "O", mientras que en suelos boscosos, la mayor fuente de materia son las hojas y restos de tallos que se concentran en el horizonte "O", las raíces no son buena fuente de MO ya que éstas perduran por varios años.

B) El drenaje: suelos con alto contenido de humedad y poca aireación tienen mayor concentración de MO debido a que en ausencia de oxígeno la mineralización de ésta es reducida.

C) Condiciones climáticas: climas secos y con altas temperaturas reducen el crecimiento de las plantas y aceleración su descomposición, mientras que climas

húmedos y con buena humedad retardan la mineralización de la materia orgánica, conservando su contenido en el suelo.

D) La topografía: Es importante en la distribución de la materia orgánica, en suelos con pendiente elevada, la escorrentía de las aguas causa erosión del suelo, arrastrando la materia orgánica de la superficie y distribuyéndola a otras partes del terreno.

1.3 Justificación

Debido a la implicación del hombre en la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, el ciclo que regula dicho gas necesita especial atención. El ciclo del carbono, que es el movimiento global del carbono entre el ambiente abiótico y los organismos, es la suma de los flujos de cuatro importantes depósitos: reservas de carbón orgánico, la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre.

El flujo neto de CO_2 es la variable que se usa para estudiar los intercambios entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera. Se puede descomponer en: flujo debido a la actividad fotosintética que fija el CO_2 a la atmósfera y flujo debido a la respiración del suelo que libera CO_2 a la atmósfera. La respiración del ecosistema (TER o "Total Ecosystem Respiration") se compone de la respiración de la cobertura foliar, del tejido leñoso y de las raíces de los árboles (AR, o respiración autotrófica del suelo) así como de la respiración de los

microorganismos del suelo (respiración heterotrófica del suelo, HR) (*Janssens&Lankreijer et al. 2001*).

La suma entre las respiraciones autotróficas y la heterotrófica del suelo es lo que se denomina SR o Respiración de Suelo (Soil Respiration).

El carbono, es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, se obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos. La materia orgánica del suelo es por tanto la suma de los residuos orgánicos (animales y plantas) en diferentes grados de descomposición. (Robert Lessard et al, s. f).

Esta tesis de grado es un inicio en Panamá de muchos más temas que se han tratado en nuestro país como lo es la dinámica de carbono en los suelos, estudios actualmente realizados por el Instituto Smithsonian de investigaciones tropicales.

Es importante recalcar que el dióxido de carbono que se encuentra en el suelo contribuirá al calentamiento global cuando el suelo acumule más carbono del que pueda reciclar y a la vez actuara como un agente mitigante al calentamiento global siempre y cuando no se vea afectado su entorno por actividades antropogénicas (Garavito Ana, 2013).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la concentración de dióxido de carbono y su relación con el contenido de materia orgánica, la pendiente del terreno y la temperatura en una fracción del bosque primario húmedo tropical en la Isla Barro Colorado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Medir la concentración de dióxido de carbono en el suelo utilizando el sensor Vaisala CARBOCAP.
- Calcular el porcentaje de materia orgánica y medir la temperatura del área de estudio como factores influyentes en la concentración de dióxido de carbono en el suelo.
- Evaluar el grado de relación que existe entre la concentración de dióxido de carbono, el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, el relieve del terreno y la temperatura.
- Utilizar la información recolectada como un medio de concientización a la población, sobre la influencia de CO₂ del suelo en el calentamiento global.

1.5 Hipótesis

H_a: Existe una relación entre la concentración de CO₂ en el suelo y el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, el relieve y temperatura en una fracción de bosque húmedo Tropical en la Isla Barro Colorado.

H₀: No existe una relación entre la concentración de CO₂ en el suelo y el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, el relieve y temperatura en una fracción de bosque húmedo Tropical en la Isla Barro Colorado.

1.6 Alcances y limitaciones

Esta investigación va dirigida a científicos, profesores y jóvenes que deseen centrar su atención en la medición de la respiración del suelo y los factores que afectan dicha respiración, teniendo en cuenta la importancia de mantener los reservorios de carbono en el suelo. Este estudio abre una puerta en Panamá hacia la investigación del dióxido de carbono en el suelo basándose en su relación con el contenido de materia orgánica, relieve del terreno, carbono orgánico y temperatura que influyen en la respiración del suelo. Las limitaciones que dificultaron la investigación fueron: transporte al lugar de muestreo, el clima afecta porque si llueve no se pueden tomar las mediciones ya que el aparato de medición no debe ser expuesto a la lluvia, falta de factor económico para seguir realizando la investigación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA (AQUÍ HAY INFORMACIONES DE TIPO GENERAL, QUE PODRÍAN ESTAR MEJOR EN ANTECEDENTES)

2.1 Ciclo del carbono

Es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos en nuestro planeta ya que todos los seres vivos, tienen carbono en su composición, debido a que de él depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico y fundamental de todo ser vivo, además que influye considerablemente en el clima de la tierra. Interviene en la fotosíntesis bajo la forma de CO_2 (dióxido de carbono) o de H_2CO_3 (ácido carbónico), tal como se encuentran en la atmósfera, forma parte de compuestos como: la glucosa, carbohidrato fundamental para la realización de procesos como la respiración y la alimentación de los seres vivos.

La reserva fundamental de carbono, es la atmósfera y la hidrosfera. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0.03% y cada año aproximadamente un 5% de estas reservas de CO_2 se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 21 años.

Los suelos representan un papel crucial en el ciclo global del carbono (C) (IPCC, 2001) ya que albergan 1500 Gt. (gigatoneladas) de carbono lo que supone el doble del contenido en la atmósfera y tres veces más del presente en la vegetación terrestre. (SCHIMMEL et al., 2000).

La vuelta de CO₂ a la atmósfera se hace cuando en la respiración, los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO₂. Los productos finales de la combustión son CO₂ y vapor de agua. El equilibrio en la producción y consumo de cada uno de ellos por medio de la fotosíntesis hace posible la vida. (Enciclopedia libre Wikipedia, 2013)

En la mayoría de los años, el efecto anual neto de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición es un incremento relativamente pequeño del carbono almacenado. Sin embargo, las ganancias acumuladas en algunos casos se pierden en los años de inundaciones o cuando el fuego consume la materia orgánica.

Todos los resultados experimentales demuestran que un aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera induce a un incremento de la biomasa o de la Red Primaria de Producción jugando un papel muy importante sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas.

Mediante el uso de un analizador de gases de infrarrojo (IRGA), Meir et al. (1996) encontraron una tasa promedio de RS de 20.81 Carbono t.ha⁻¹.año⁻¹ en un bosque lluvioso en el centro de Brasil, un valor bastante alto con respecto a los establecidos en otros estudios en la Amazonía.

Se llevo a cabo un balance completo de los bosques de Francia por Dupouey et al., (1999). Este estudio comprendió 540 parcelas de la red europea de supervisión forestal. La media total del carbono del ecosistema fue de 137 t

C/ha; de este total, el suelo representa el 51 por ciento (71 t), los restos vegetales superficiales 6 %y las raíces 6 %. Estos datos son muy cercanos a los proporcionados en el último informe del IPCC (El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (IPCC 2000) para los bosques en Tennessee (Estados Unidos).

El flujo de CO₂, la temperatura y la humedad del suelo se midieron mensualmente durante un año y se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del mismo. La RS (respiración del suelo) mostró un patrón estacional típico con valores mínimos en invierno y máximos en primavera. Los valores máximos de RS se obtuvieron en las parcelas situadas a mayor altitud, en el pinar durante el invierno y en el rebollar durante la primavera y el verano. (Cuartas R, Torre D; et al, 2008).

2.2 El CO₂ atmosférico

Se denomina "efecto invernadero" al fenómeno por el que parte de la energía calorífica emitida por la corteza terrestre, es retenida y reflejada por determinados gases que forman parte de la atmósfera. Sin la actuación de estos gases, la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el calor emitido por el planeta se disiparía en el espacio produciendo unas temperaturas extremadamente bajas en la Tierra. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que, en su mayoría, son liberados por la industria, la agricultura, la ganadería y la combustión de combustibles fósiles. En los últimos cien años, la temperatura media ha aumentado entre 0,3 y 0,7 °C. (Anglada, 1998).

2.2 Papel de los suelos

Los suelos juegan un papel central en el ciclo global del carbono, ya que contienen carbono cuatro veces más de la biosfera y tres veces más carbono que la atmósfera. En los bosques tropicales, la superficie del suelo contiene carbono tanto como la vegetación forestal, sin embargo, se sabe poco sobre la respuesta probable de carbono en el suelo a los cambios en la dinámica del clima o del bosque.

En un estudio hecho por el CTFS (Centro forestal del trópico) se encontraron los siguientes resultados: 423.8 ton/ ha formados por raicillas de menos de 2 mm de diámetro del suelo, 59.7% de suelo, 36.3% arboles, 3.2 % madera muerta, 0.7 % bejucos. (Landau, 2011).

La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20-30 cm. Sin embargo, los datos empíricos sólo suelen permitir detectar cambios en la capa de 0-5 cm de profundidad.

El cambio en el contenido de carbono del suelo debido a un cambio en el uso del suelo no suele superar los 20 Mt (mega toneladas de carbono por ha) (PICC, 1997; Murta y otros, 2002), excepto en condiciones de humedales.

2.3 ¿Como ayuda el CO₂ al secuestro de carbono en el suelo?

El CO₂ y otros gases invernaderos como el N₂O actúan atrapando la energía calórica (radiación solar de onda corta) reflejada de la superficie de la tierra y las nubes (Fig. 2). Este calor retenido puede conducir al calentamiento global en el planeta. A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosférico pueden reducirse en la misma medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. Si el carbono orgánico del suelo no es alterado, puede permanecer en el suelo por muchos años como materia orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido de la piscina disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir los niveles de CO₂, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global.

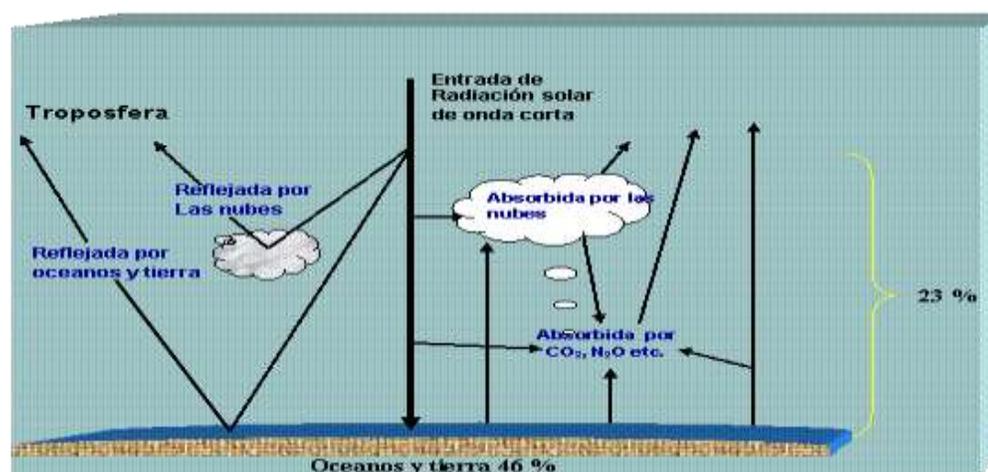


Figura 2. Distribución de la radiación de onda corta sobre la Tierra (Tomado MacCracken, 1985)

El flujo medio de CO₂ registrado en el suelo bajo la plantación de pinos (P) fue comparable a los valores obtenidos, con métodos similares, en otros sistemas forestales (Brume, 1995; Jensen et al. 1996). Coincidiendo con otros estudios (Hendrikson et al., 1989), la tala originó aumentos considerables de la emisión de CO₂, aunque la respuesta fue muy variable para los diferentes tratamientos practicados. Otros autores, sin embargo, han encontrado reducciones en las emisiones de CO₂, lo que ha sido atribuido a una menor tasa de descomposición. (Mattson y Swank, 1989) o a una reducción de las raíces vivas del suelo (Brume, 1995).

Las emisiones de CO₂ estuvieron sometidas a importantes fluctuaciones estacionales, al igual que la biomasa microbiana esto se realizó en una plantación de pino radiata de 25 años de edad. (Hendrikson et al., 1989)

Entre enero y abril se detectaron los flujos de CO₂ más bajos, mientras que en marzo y julio se registraron los máximos. El suelo bajo pinar (P) (parcela control) presentó los flujos menores y más estables. Todas las parcelas taladas aumentaron considerablemente sus emisiones de CO₂, aunque, al igual que en la biomasa microbiana, el efecto varió con el tipo de manejo practicado.

Batjes (1996) llevó a cabo una revisión de las estimaciones usando la base de datos *Wise* con 4353 perfiles (19 222 análisis de carbono), con una representación geográfica más significativa.

Este estudio confirmó un total de carbono del suelo de cerca de 1500 Gt (gigatoneladas) en los horizontes superiores (0-100 cm) pero a su vez reveló la

presencia de existencias importantes y estables de carbono a profundidades entre 100 y 200 cm de profundidad, especialmente en suelos tropicales.

El CO₂ es esencial para el crecimiento de las plantas, si este aumenta incrementa la intensidad de la fotosíntesis, un estudio de (IPCC, 2005) demostró que un incremento de dióxido de carbono hace que se desarrollen menos los estomas de las plantas, lo que produce una reducción en el consumo de agua.

1.2.4 Bosques como sumideros naturales de CO₂

Los árboles junto con el plancton oceánico, son los principales sumideros naturales del planeta, esenciales para el ciclo de carbono. Se acumulan en enormes cantidades de carbono en la madera y en el ecosistema a través de la fotosíntesis.

Absorben dióxido de carbono de la atmósfera, almacenan una parte del carbono tomado, y devuelven oxígeno a la atmósfera. Las especies pioneras, de crecimiento rápido, por lo general absorben poco carbono.

Las maderas duras son más densas y almacenan más carbono y durante más tiempo, pero por lo general crecen más lentamente (siglos o milenios). En la madurez, la absorción es menor, pero el carbono representa el 20% de su peso en promedio. Cuando el árbol muere, la madera es descompuesta por bacterias, hongos e invertebrados, reciclando su carbono como biomasa, materia orgánica muerta (cadáveres y excrementos de estos organismos) y, en forma de gases

(CO₂ y metano) liberados a la atmósfera o en el agua. (Enciclopedia libre Wikipedia, 2013).

2.4 Deforestación y balance del carbono

Cuando los bosques se convierten a otros usos del suelo, ocurre una gran liberación neta de carbono a la atmósfera. El proceso puede ocurrir en cuestión de horas en el caso de incendios, o durar años en el caso de la descomposición, o décadas cuando los productos de la madera ingresan en los sistemas domésticos/urbanos. Las emisiones netas pueden calcularse analizando la disminución o el aumento de las “reservas terrestres de carbono”.

Debido a que los bosques tropicales en condiciones naturales contienen más carbono aéreo por unidad de superficie que cualquier otro tipo de cobertura terrestre (Gibbs y otros, 2007), es importante considerarlos en los esfuerzos por mitigar el cambio climático.

Las emisiones máximas de CO₂ se encontraron siempre en la parcela de incorporación de restos (F) (profundidad), lo que está relacionado con las mayores tasas de descomposición y niveles de biomasa microbiana de este suelo (Pérez. Batallón, G. Ouro et al, 1998).

2.5 Reservorios de carbono

Según PICC (Panel intergubernamental del cambio climático) (2009), el carbono se encuentra en diversos reservorios.

Las reservas terrestres de todo el carbono almacenado en los ecosistemas se encuentran en:

- Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea)
- Biomasa de plantas muertas (aérea y subterránea)
- Suelo (en materia orgánica del suelo y, en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos)

A estos reservorios se les describe como biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta y hojarasca, y carbón.

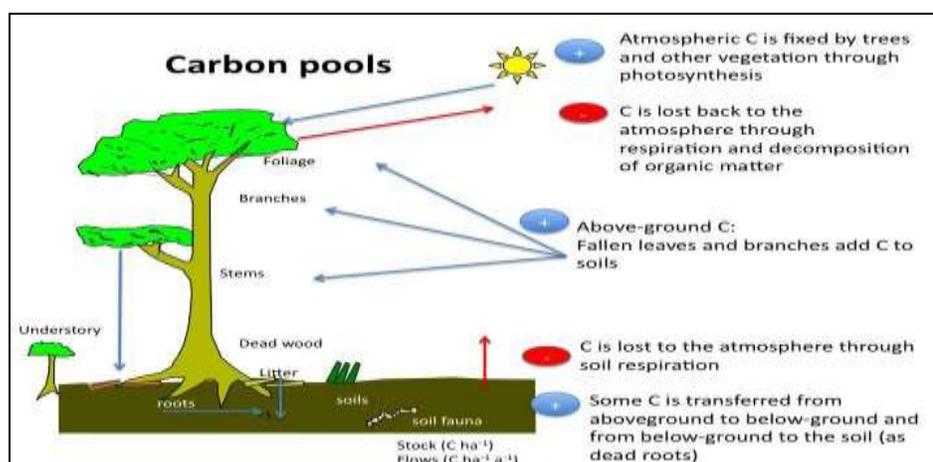


Fig. 3. Reservorios terrestres de carbono

Fuente: Adaptado de Locatelli (2007) y EPA (2009), por Honorio y Velarde (2009).

Carbono de la biomasa de plantas vivas

La biomasa aérea abarca todos los troncos leñosos, ramas y hojas de árboles vivos, plantas rastreras, enredaderas y epífitas, así como las plantas del sotobosque y la vegetación herbácea. La biomasa subterránea abarca las

raíces, la fauna del suelo y los microorganismos y el carbono de la biomasa de plantas muertas .

Carbono de la biomasa de plantas muertas

La materia orgánica muerta (necro masa) incluye árboles caídos y tocones, otros desechos leñosos gruesos, la capa de hojarasca y el carbón vegetal (o materia orgánica parcialmente carbonizada) sobre la superficie del suelo. La reserva de carbono de la hojarasca en una selva tropical suele ser aproximadamente 5 tc /ha/año, con un periodo medio de permanencia en la capa de hojarasca de aproximadamente 1 año. Los árboles muertos pueden tardar aproximadamente 10 años en descomponerse y la necro masa constituye aproximadamente el 10% del total de reserva de carbono aéreo en un bosque natural saludable.

Carbono del suelo

El carbono del suelo abarca el carbono orgánico, el carbono inorgánico y el carbón vegetal. El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación, y los plazos de recambio llegan hasta cientos (o incluso miles) de años. En las turberas, los plazos de recambio pueden alcanzar los miles de años..En los suelos minerales, el cambio en el carbono orgánico del suelo es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo (IPCC, 1997).

III Metodología

3.1 Descripción del área de estudio

La Isla de Barro Colorado es una colina de 1,500 hectáreas que sobresale 137 m en el lago Gatún. Está localizada entre los 9° 09' N y 79° 51' W. La cima de la isla es amplia y plana, se encuentra sobre una base compacta de basalto, de la cual irradian crestas empinadas y valles tallados en rocas sedimentarias que contienen gran cantidad de restos volcánicos. Es aquí donde se llevó a cabo la investigación, los suelos son arcillosos y tienen entre cincuenta centímetros y un metro de profundidad.

El clima de Barro Colorado es típico de muchas tierras bajas tropicales Según la clasificación de Holdridge es un clima Húmedo tropical. En áreas abiertas el promedio anual de temperatura es de 27° C, con una variación diurna de 9° C. La precipitación promedio anual es de 2,600 mm, con una estación lluviosa que va de mayo a diciembre, y una estación seca que comprende los meses restantes.

En Barro Colorado se han registrado más de 1,300 especies de plantas vasculares (Croat 1978). Su vegetación está formada por bosque semicaducifolio de tierras bajas. La mitad de la isla se encuentra cubierta de bosque joven de 100 o más años de edad, el resto está cubierto de bosque viejo, el cual ha sufrido muy pocas perturbaciones en los últimos 400 años.

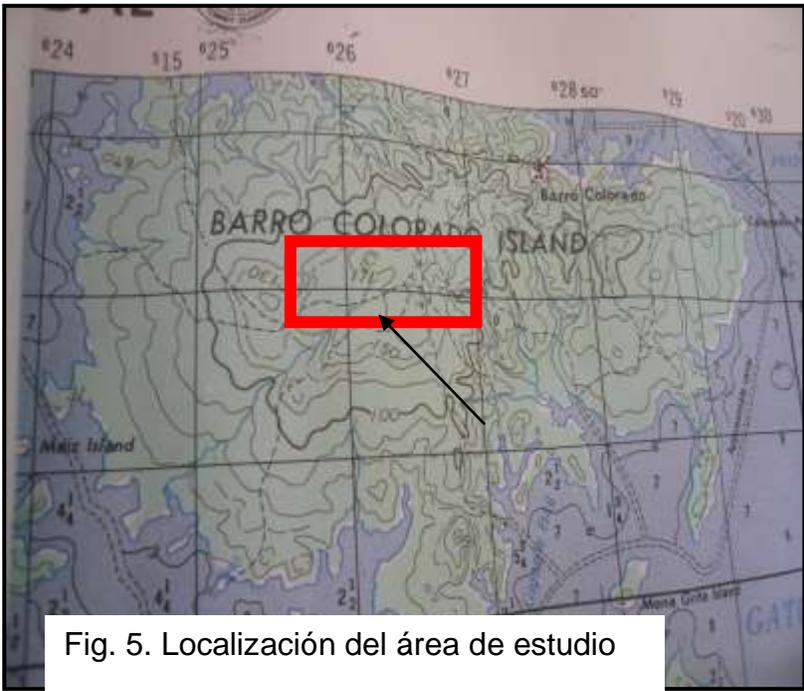
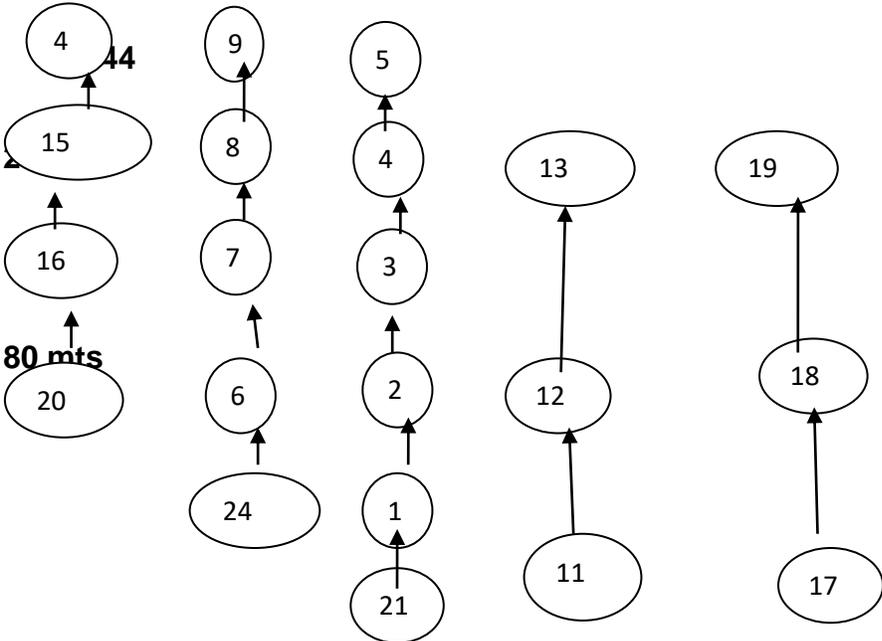


Fig. 5. Localización del área de estudio

• **Ubicación de los anillos de medición**



Los anillos se ubicaron en sentido de la orientación del sol a una distancia de veinte metros como se observa en el esquema y solamente uno que fue el anillo veinte está a ochenta metros, los anillos 13, 12, 11, 19, 18, 17 están a 60 metros de distancia .

3.2 Materiales

3.2.1 Material de campo

Sensor Vaisala CARBOCAP	Bolsas plásticas
Tubos pvc	Clinómetro
GPS	Tablas de madera
Mazo	Barrena
	Computadora

El Vaisala Carbo Cap. es un sensor que se utiliza para medir la concentración de dióxido de carbono en el suelo y la temperatura , el cual se midió en un periodo de 5 minutos con intervalos de 5 segundos.

Los tubos pvc fueron utilizados para señalar las mediciones a realizar dentro de la parcela lo que se le denominó anillos.

El GPS utilizado para tomar las coordenadas de los puntos y con ello facilitar la búsqueda de los anillos a medir.

Barrena utilizada para tomar muestras de suelo a una profundidad de 10 cm

Tablas de madera y mazo utilizados para nivelar los tubos pvc y fijarlos al suelo.

Computadora: Utilizada para analizar los datos obtenidos de la medición y las bolsas plásticas fueron utilizadas para guardar las muestras de suelo debidamente etiquetadas para su posterior análisis.



Fig. 6. Sensor VaisalaCarbocap

3.2.2 Material de laboratorio

Tamiz, probeta, cernidor, bureta, matraces, balones de aforo, Horno, cámara de gas, computador, balanza

Reactivos

Solución ferrosa, dicromato de potasio, ácido sulfúrico concentrado, indicador difelina. .

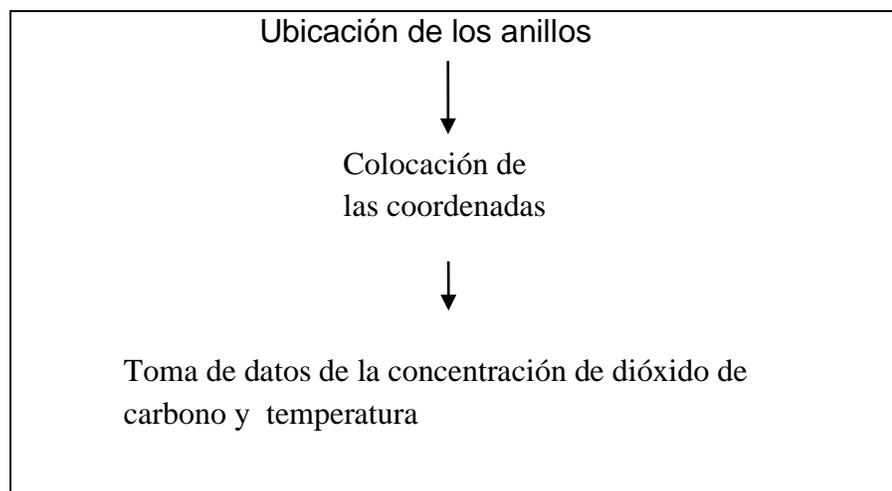
3.3 Métodos

Metodología para la medición de la concentración de CO₂ del suelo en el campo

Esta metodología se basa en una serie de instrumentos que se utilizan para medir la respiración del suelo entre ellos el Vaisala Carbo Cap. Utilizado en esta investigación el cual fue creado en Finlandia cuya función se basa en una fuente de gases infrarrojos que posee en el extremo de la cámara de medición que emite luz a la cámara de gas, donde cualquier gas en este caso dióxido de carbono presente absorbe parte de la luz en su longitud de onda.

El filtro de interferencia FPI está sintonizado eléctricamente de manera que su banda de paso coincide con la longitud de onda de absorción del dióxido de carbono. El detector mide la intensidad de la señal que se recibe a través del dióxido de carbono.

3.3.1 Diagrama de flujo



3.3.1.1 Descripción del proceso de flujo

Ubicación de los anillos de medición : Se tomo una parcela de 6 has en la cual se distribuyó aleatoriamente veinticinco anillos de tubos pvc de 15 pulg de diámetro, dichos anillos de tubos pvc son la base para saber la ubicación en toda la parcela donde se tomaran las medidas de concentración de CO₂ para tomar estas ubicaciones de cada anillo se tomo como referencia las mediciones de CO₂ de la parte aérea de los arboles que se estaban realizando en el dosel del bosque por ello se ubicaron los puntos de medición con una variación espacial de 20 m, 40 m y 60 m colocados en sentido de la orientación del sol.

Coordenadas de cada anillo de medición: Se procedió a tomar las coordenadas de cada punto de medición para saber las ubicaciones de cada uno dentro de la parcela y facilitar la toma de mediciones luego se procedió a nivelar los tubos para que al momento de las mediciones se concentrara el CO₂ correctamente.

Toma de mediciones: Luego de tomar las coordenadas en el mes de junio se procede a tomar las mediciones de dióxido de carbono, por factores económicos la toma de mediciones se dividieron en dos días por semana 14 en un día y al siguiente día 15 mediciones, en este caso para la tesis solo se tomaron 15 mediciones, debido a que solo se realizaron 15 muestras de suelo para comparar equitativamente ambos por factores económicos solo se pudieron analizar en el laboratorio 15 muestras de suelos, midiendo así con el instrumento (Vaisala CARBO CAP) la concentración de CO₂, el cual es un sensor que se

utiliza para medir el dióxido de carbono, la temperatura y humedad relativa en el suelo.

Guardar información: El equipo tiene la capacidad de guardar información de 24 datos por día por lo que se requiere pasarlo al programa MI70 LINK para ser guardado y medir nuevamente.



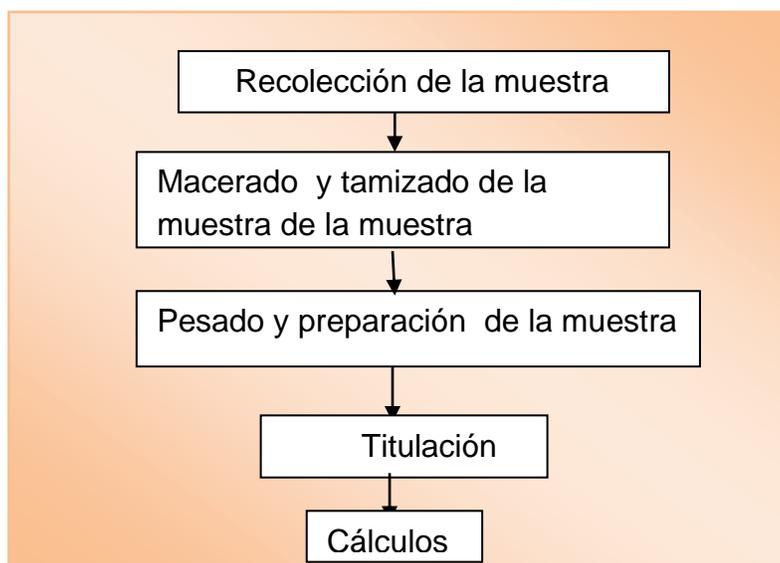
Fig. 7 Anillo de medición instalado



Fig. 7 Flaguins para saber la ubicación de

Metodología para la fase de laboratorio

Determinación de materia orgánica



Recolección de la muestra: Se tomaron 15 muestras de suelo en la parcela de 6 has, de forma rectangular para determinar el contenido de materia orgánica y humedad del suelo, se usaron bolsas plásticas con su debida etiqueta para separar las muestras y su posterior análisis de la materia orgánica en el laboratorio.

Macerado y tamizado de la muestra: Se maceraron las 15 muestras de suelo con 5 g de suelo cada una y se pasaron a través de un matiz de 1 mm para separar las raíces del suelo y facilitar el análisis.

Pesado y preparación de la muestra: Se pesaron 0.5 g de suelo tamizado a través de una malla de 1 mm en un matraz de 500 ml, posteriormente se le agrego 10 ml de dicromato de potasio ($K_2CR_2O_7$) 1 N(normal), se le agrego 20 ml de acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) , se introdujeron los tubos a la cámara de gas por un periodo de 30 minutos.

Titulación: Se retiraron los tubos de la cámara de gas y se preparo el blanco simultáneamente (sin suelo), se le agrego 200 ml de agua destilada, 10 ml de acido fosfórico (H_3PO_4), 20 ml de acido sulfúrico (H_2SO_4) y 20 gotas de indicador di fenilamina, titulando con una solución ferrosa 1 N hasta obtener un color verde brillante.



Fig. 8. Análisis de materia orgánica donde se le está agregando dicromato de potasio



Fig.9 Titulación con solución ferrosa

Cálculos

Para determinar el porcentaje de materia orgánica se utiliza la siguiente formula

$$\% \text{ M.O} = 10 (1 - T/s) \times F$$

S= Valoración del blanco (ml de solución ferrosa)

T= Valoración de la muestra (ml de solución ferrosa)

F= coeficiente para diferentes muestras de suelo

a. (0.5 g)

$$\%C.O = \frac{\% M.O \times 58}{100}$$

Determinación de la humedad de campo:

Se tomaron 5 muestras de suelo de 51, 2 g a 10 cm de profundidad al azar dentro de la parcela, antes de ser llevadas al laboratorio se tomó el peso de la lata vacía posteriormente fueron llevadas al laboratorio donde se pesó el suelo húmedo para luego llevarlas al horno a una temperatura de 105 °C por un periodo de 24 horas, por último se tomó el peso seco, calculando así el porcentaje de humedad del suelo con la siguiente formula:

$$\% = \frac{PH-PS}{PL} \times 100$$

PH-PL

PS=peso seco

PH= peso húmedo

PL= peso de la lata

3.4 Analisis estadisitico

Determinación del promedio de la concentración de dióxido de carbono

En este caso se calculó el promedio de la concentración de dióxido de carbono total con una media aritmética de las 15 mediciones de la concentración de dióxido de carbono en el suelo.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$X = \frac{X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}}{N}$$

N

Primeramente se hace un análisis de Shapiro wilk que es una prueba de normalidad para determinar qué tipo de análisis de datos se puede hacer como es la distribución de los datos si cae debajo de la curva de distribución normal se hace una prueba paramétrica que es la que hice en este caso para analizar los datos donde hice un Anova ya que contaba con más de 2 tratamientos.

Al contar con 5 tratamientos con una repetición de cada uno (pendiente del terreno, concentración de CO₂, materia orgánica, carbono orgánico, temperatura del suelo) se hicieron interacciones para saber el grado de significancia entre cada tratamiento si la probabilidad = 0.05 es menor a esta cantidad no se distribuye normalmente la gráfica y por lo tanto no hay relación si es mayor a 0.005 si hay relación significativa. Posteriormente se hizo un análisis de covarianza para determinar la correlación de cada uno de los tratamientos es decir el grado de relación que existe entre cada tratamiento donde el 80 % es el más fuerte y el 48 % es el más débil.

5.0 Resultados

Cuadro 1. N° de anillos agrupados según la pendiente del terreno

N° de anillos de medición	Clasificación de las clases de gradiente de pendiente	Pendiente %
1	plana	0.2
9	plana	0.2
5	plana	0.2
6	plana	0.2
10	plana	0.2
11	plana	0.2
12	Ligeramente inclinada	4
8	inclinada	9
2	inclinada	8
15	inclinada	8
4	inclinada	7
3	inclinada	7
14	Fuertemente inclinada	10
13	Fuertemente inclinada	11
7	Fuertemente inclinada	15

En este cuadro se explica la clasificación de los anillos de medición por pendiente del terreno las cuales se clasifican según las clases de gradiente de pendiente, como se observa los anillos 1, 9, 5, 6, 10,11 están dentro de la parte plana es decir no poseen ningún tipo de inclinación, el anillo 12 está dentro de la clasificación de pendiente ligeramente inclinada los anillos 8,2, 15, 4 y 3 están dentro de la pendiente inclinada y los anillos 14, 13 y 7 están en el rango de fuertemente inclinada.

Cuadro 2. N° de muestras según el contenido de materia orgánica y carbono orgánico del suelo

Numero de muestras de suelo	Materia orgánica en %	Carbono orgánico en %
1	5.08	2.95
2	5.43	3.15
3	7.39	4.29
4	5.54	3.22
5	6.93	4.02
6	8.09	4.69
7	7.16	4.15
8	6.35	3.69
9	8.55	4.96
10	8.78	5.09
11	6.35	3.69

12	7.51	4.36
13	5.66	3.28
14	6.47	3.75
15	5.43	3.15

En este cuadro se detalla el número de muestras de suelo con su valor de contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico; los valores de porcentaje de materia orgánica más altos estuvieron en la muestra 3,7,9,10,12 son los valores más altos , es decir estos poseen un alto contenido de materia orgánica, los que están en el rango de 5-6 que son las muestras 1, 2,4,5,8,11,13,14 y 15 entran entre los valores medios , el contenido de materia orgánica para este suelo entra entre el rango de medio a alto.

En el caso del porcentaje de carbono orgánico el más alto fue 4.69 los demás valores están entre un rango de 2 -3 lo que indica que corresponde con el porcentaje de materia orgánica ya que coinciden porque los valores más altos de porcentaje de carbono orgánico están con los valores más altos del contenido de materia orgánica y con los bajos sucede lo mismo como 5.08, que es el valor más bajo posee 2.95 de carbono orgánico que es el más bajo dentro de los valores de carbono orgánico.

Cuadro 3. Clasificación según la gradiente de pendiente y el % de la Humedad de campo.

Clasificación de la gradiente de pendiente	% de Humedad de campo
0 – 0.2%	32.15 %
2– 5 %	41.43 %
5-10 %	34.0 %
10-15 %	35.15 %

En este cuadro se clasifico por gradiente de pendiente la humedad de campo, se tomaron los anillos de medición que estaban dentro de cada rango de pendiente por ejemplo la pendiente de 0-0.2 tiene un porcentaje de humedad de campo de 32.15 % que fue el valor más bajo de humedad lo obtuvo la parte plana, el valor más alto de humedad fue de 41.43 % que lo obtuvo la pendiente ligeramente inclinada que está dentro del rango de 2 -5%, la pendiente inclinada obtuvo el valor de 34 % y la pendiente fuertemente inclinada obtuvo un valor medio de 35.15 %.

La humedad de las 5 muestra tomadas al azar de los puntos de medición dentro de la parcela fue de 34 %.

Cuadro 4. Numero de anillos de medición según la concentración de dióxido de carbono

N° de anillos de medición	concentración de CO ₂ en ppm
1	474
9	583.3
5	558.2
6	583.4
10	473
11	522.3
12	448.6
8	439.2
2	436.9
15	449.2
4	429.7
3	425.2
14	433.4
13	422.6
7	418.5

En este cuadro se detalla la concentración de dióxido de carbono, esta agrupada según la pendiente del terreno y de los valores más altos a los más bajos donde se observa que la concentración de 583.4 que es la más alta está en el punto de medición que está clasificado dentro de la parte plana del terreno mientras que el valor más bajo que es 418.5 está dentro del rango de pendiente fuertemente inclinada, y los valores medios que están dentro del rango entre 430-440 están dentro de la pendiente inclinada

Promedio total de la concentración de dióxido de carbono con un tiempo de 5 minutos y un intervalo de 5 segundos

$$X = \frac{583.4 \text{ ppm} + 558.2 \text{ ppm} + 474 \text{ ppm} + 583.3 \text{ ppm} + 473 \text{ ppm} + 522.3 \text{ ppm} + 448.6 \text{ ppm} + 439.2 \text{ ppm} + 436.9 \text{ ppm} + 449.2 \text{ ppm} + 429.7 \text{ ppm} + 425.2 \text{ ppm} + 433.4 \text{ ppm} + 422.6 \text{ ppm} + 418.5 \text{ ppm}}{15}$$

$$X = 7097.5 \text{ ppm} / 15$$

$$X = 473.16 \text{ ppm} = 473000 \text{ toneladas/has}$$

N. de anillos de medición	Tipo de Pendiente	Pen dien te (%)	Contenido de M.O en %	C organico en %	Concentración de CO₂ en ppm	Temperatura en C°
1	Plana	0.2	5.08	2.95	474	24.9
9	Plana	0.2	8.55	4.96	583.3	27.05
5	Plana	0.2	6.93	4.02	558.2	25.02
6	Plana	0.2	8.09	4.69	583.4	27.28
10	Plana	0.2	8.78	5.09	473	24.74
11	Plana	0.2	6.35	3.69	522.3	25.23
12	Ligeramente Inclínada	4	7.51	4.36	448.6	26.37
8	Inclínada	9	6.35	3.69	439.2	26.26
2	Inclínada	8	5.43	3.15	436.9	27.3
15	Inclínada	8	5.43	3.15	449.2	27.35
4	Inclínada	7	5.54	3.22	429.7	26.4
3	Inclínada	7	7.39	4.29	425.2	26.22
14	Fuertemente Inclínada	10	6.47	3.75	433.4	26.99
13	Fuertemente Inclínada	11	5.66	3.28	422.6	25.4
7	Fuertemente i	15	7.16	4.15	418.5	25.16

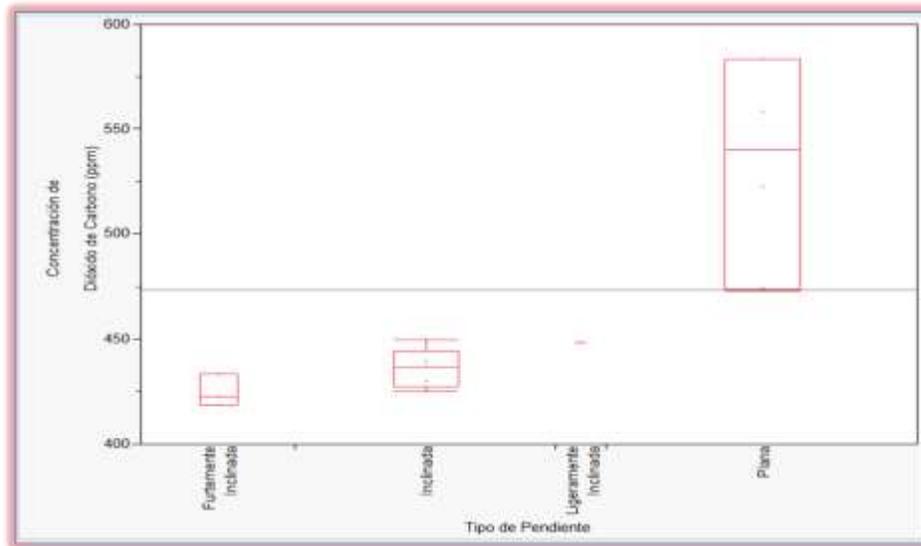
Este cuadro recopila los cuatro cuadros propuestos anteriormente enfatizándose en los puntos de medición agrupados según la pendiente del terreno, concentración de dióxido de carbono, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbono orgánico y temperatura que son los 5 tratamientos; donde la parte plana es la que posee los valores más altos tanto de materia orgánica, carbono orgánico y dióxido de carbono seguido de la pendiente ligeramente inclinada y por último los valores más bajos lo tiene la pendiente inclinada y la fuertemente inclinada.

Cuadro 6 .Clases de gradiente de la pendiente

CUADRO 7
Clases de gradiente de la pendiente

Clase	Descripción	%
01	Plano	0-0,2
02	Nivel	0,2-0,5
03	Cercano al nivel	0,5-1,0
04	Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
05	Ligeramente inclinado	2-5
06	Inclinado	5-10
07	Fuertemente inclinado	10-15
08	Moderadamente escarpado	15-30
09	Escarpado	30-60
10	Muy escarpado	> 60

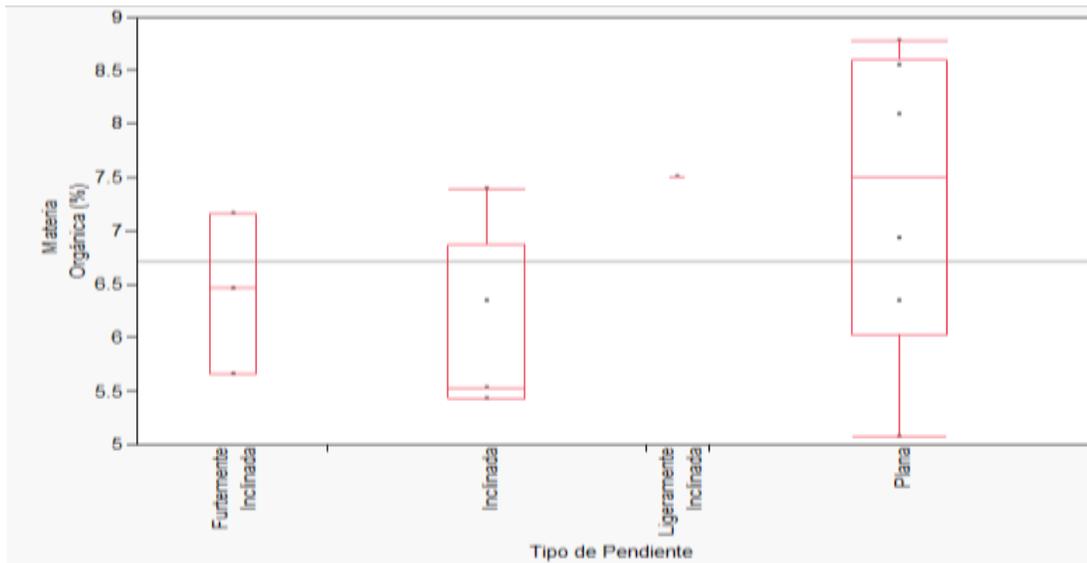
Este cuadro fue tomado como referencia para la clasificación de la pendiente del terreno en el bosque humedo tropical de la isla Barro Colorado.



Grafica N° I concentración de dióxido de carbono según la pendiente del terreno

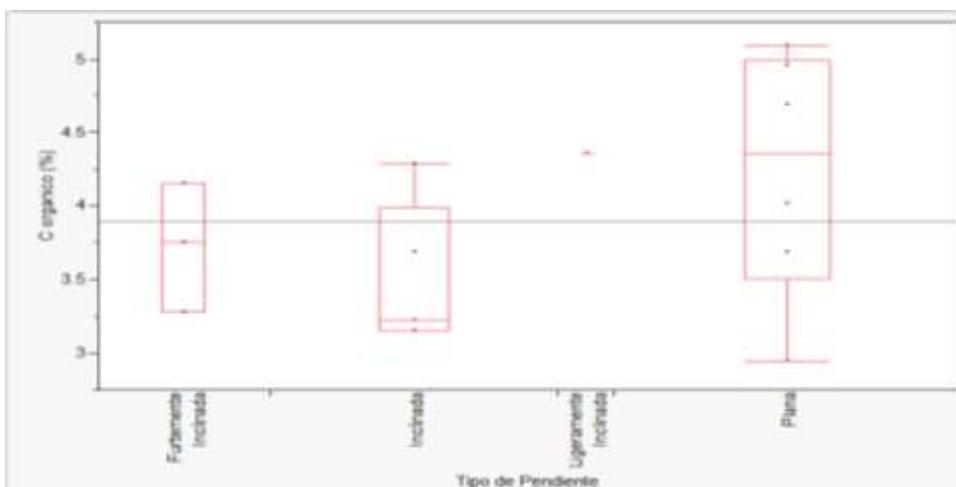
En mi estudio encontré un análisis significativo en cuanto a la relación dióxido de carbono y pendiente se hizo un Anova el cual dio significativo porque la probabilidad fue $P = 0.0020$ es decir es menor que 0.005 por esa razón es significativo.

Se realizó la Prueba de Tukey la cual establece que la pendiente plana es la que contiene mayor concentración de CO_2 y a medida que la pendiente aumenta hay menor concentración de dióxido de carbono en la Grafica se observa detalladamente que hay una variación en todas las pendientes.



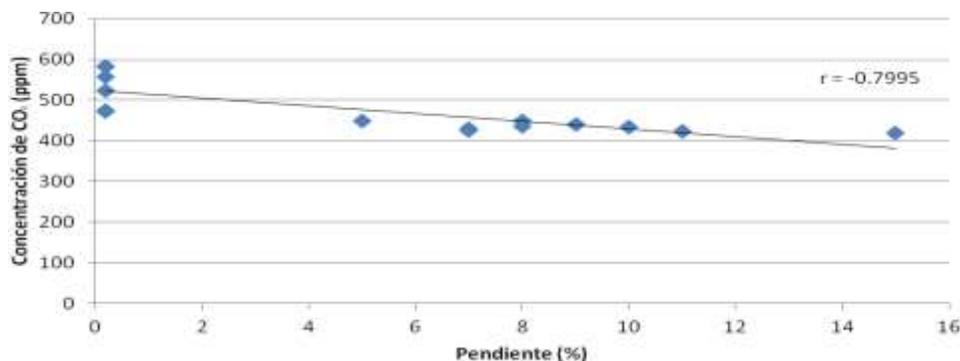
Grafica N° II Porcentaje de Materia Orgánica según el tipo de pendiente ($F_{0.05} = 1.3422$, $n = 4$, $P = 0.3108$).

El porcentaje de materia orgánica es igual en todas las pendientes, el ANOVA es no significativo porque $P > 0,05$ en la gráfica se observa detalladamente que la probabilidad es mayor que 0.05 ($p=0.3108$) lo que indica que no hay variación entre pendiente y materia orgánica en este estudio.



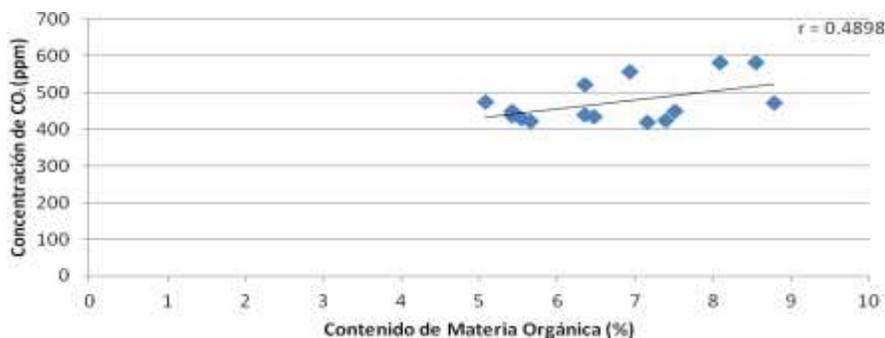
Grafica III Porcentaje de carbono orgánico según la pendiente del terreno

El porcentaje de carbono orgánico es igual en todas las pendientes, el ANOVA es no significativo ($P > 0,05$) porque no había variación entre pendiente y carbono orgánico ya que la probabilidad fue de 0.3101 en la grafica N° III se observa detalladamente que no hubo variación entre estos parámetros.



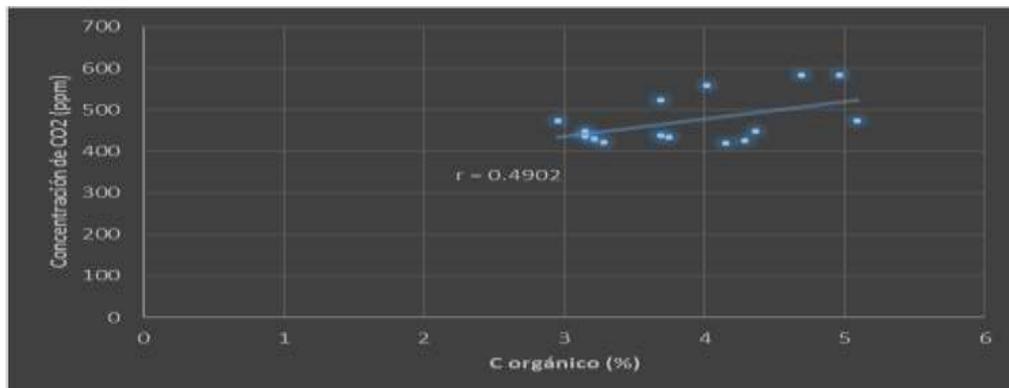
Grafica N° IV Relación entre la Concentración de CO₂ y el Tipo de pendiente (Pearson; $r = -0.7995$, $P = 0.0003$).

En mi estudio existe relación entre dióxido de carbono y pendiente de un 80 % porque como se observa en la grafica N° IV la concentración de CO₂ está relacionada con la Pendiente del terreno de manera inversa, la correlación es negativa a mayor pendiente menor concentración de CO₂.



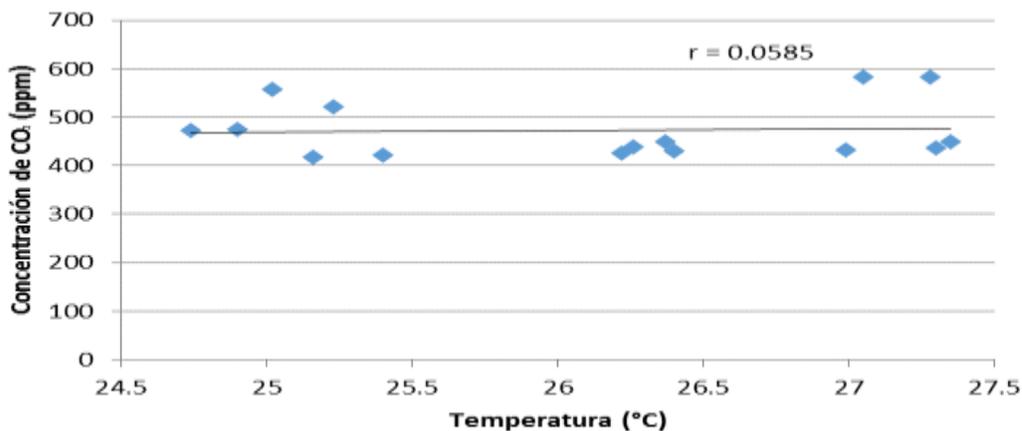
Grafica N° V Relación entre la Concentración de CO₂ y el Porcentaje de Materia Orgánica (Pearson; $r = 0.4898$, $P = 0.0639$)

En mi estudio la concentración de CO₂ está relacionada con el Porcentaje de Materia Orgánica de manera parcial, solo un 49% de la relación se observa detalladamente en la gráfica N° VI, la correlación es positiva puede ser explicada.



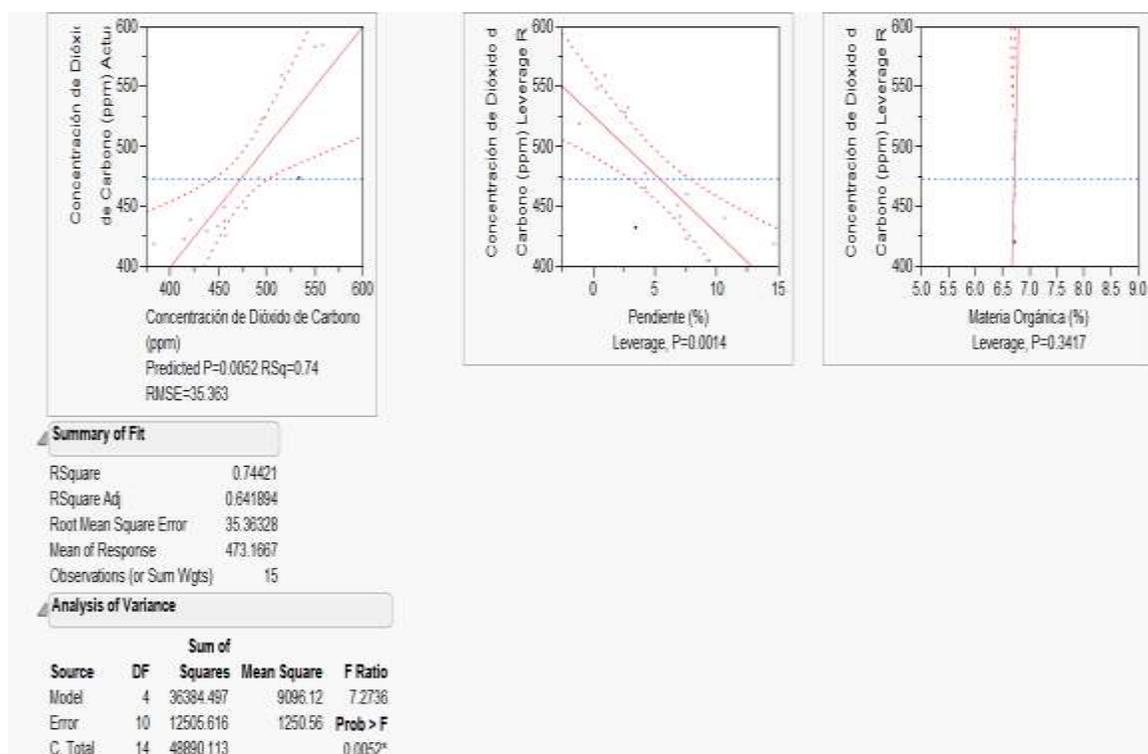
Gráfica N° VI Relación entre la Concentración de CO₂ y el porcentaje de C Orgánico (Pearson; $r = 0.4902$, $P = 0.0636$).

La concentración de CO₂ está relacionada con el Porcentaje de carbono orgánico de manera parcial, solo un 49% de la relación puede ser explicada.



Gráfica N° VII Relación entre la Concentración de CO₂ y Temperatura (Pearson; $r = 0.0585$, $P = 0.8360$).

En mi estudio la concentración de CO₂ no se relaciona con la Temperatura, la relación solo es de 58 % es demasiado débil o despreciable, se observa detalladamente en la grafica N° VII.



Grafica VIII Relación entre la Concentración de CO₂ y pendiente del terreno, temperatura, Porcentaje de Materia Orgánica y Porcentaje de C Orgánico ($F_{0.05} = 7.2736$, $P = 0.0052$).

Existe relación entre la concentración de CO₂ y al menos una de las variables. La prueba t de Student revela que la relación se da entre la concentración de CO₂ y la Pendiente del terreno.

NOTA: Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa JUMP 9.0 (JMP 9.0).

4.1 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- En el estudio resulta que la concentración de dióxido de carbono si se relaciona con la pendiente ya que uno comprende a la otra; esto se debe que al colocar los anillos fueron distribuidos aleatoriamente por ello hay mayor concentración de CO₂ en pendientes planas debido a que como se menciona en la literatura (Wikipedia, 2013) los suelos con pendiente elevada, la escorrentía de las aguas causa erosión del suelo, arrastrando la materia orgánica de la superficie y distribuyéndola a otras partes del terreno por lo que la mayor concentración se concentra en el área plana, esto no se compara con otros estudios ya que esta investigación es un inicio de este tema en cuanto al establecimiento de relaciones entre pendiente con la concentración de CO₂.
- Según la literatura el carbono orgánico está relacionado con la concentración de CO₂ en el suelo ya que es la cantidad de dióxido de carbono que se genera producto de la oxidación de la materia orgánica; el carbono orgánico al ser descompuesto libera CO₂ del suelo en mi estudio no hay relación significativa ya que el clima influyo a la hora de tomar las mediciones estábamos en estación seca y no había mucho

actividad microbiana que acelerara el proceso de descomposición de la materia orgánica que influyera en la concentración de CO₂. (Bures, 2004)

- No hubo relación entre la temperatura y el dióxido de carbono fue un 58 % lo cual es demasiado bajo e indica que no hay una relación entre estos dos parámetros , por ello se observa una dispersión pronunciada referente al modelo ajustado de la gráfica; basado en lo encontrado por Adachi M, *et al* 2006 afirma que la temperatura del suelo no se correlacionó con la distribución de la tasa de respiración del suelo debido a que las temperaturas del suelo fueron casi las mismas en los ecosistemas tropicales estudiados bosques primarios y secundarios .
- Según (Sala N *et al* 1993) no encontraron una relación significativa entre el flujo de CO₂ y la temperatura del suelo, ya que deducen que la temperatura del suelo por si sola no responde a los cambios ocurridos en el flujo de CO₂ , y para tener un mejor entendimiento de los factores que afectan la respiración del suelo realizaron una regresión múltiple con variables meteorológicas como la humedad del aire, temperatura del aire, evaporación, radiación solar, y presión atmosférica, expandiendo el modelo hasta un 98% de la variabilidad temporal de la emisión de CO₂, durante el periodo de estudio de tres semanas el cual se compara con mis resultados ya que la temperatura no tuvo una relación significativa con la concentración de dióxido de carbono en el suelo.

- El estudio demuestra que la materia orgánica obtuvo correlación positiva esto se debe a que el porcentaje de pendiente se relacionó con el contenido de materia orgánica comparándolo con el estudio de la relación del contenido de materia orgánica con el relieve del terreno hecho por (R, Encina. A, et al, 2013) comprobaron que los suelos de terreno plano fueron los que presentaron mayor contenido de materia orgánica y los de terreno de declive menor contenido de la misma, dicho estudio demostró que hay una alta correlación entre el porcentaje de pendiente, la ubicación fisiogeográfica que ocupa el suelo en el terreno y el contenido de materia orgánica.
- Relacionando todos los parámetros con la concentración de dióxido de carbono solo tuvo relación significativa con la pendiente, los otros cuatro tratamientos no tuvieron una relación significativa ya que posiblemente hubieron factores que afectaron la medición de dióxido de carbono en el suelo como el factor económico, cambios en el clima, el factor tiempo y falta de apoyo.
- La comparación del stock de carbono indica que en suelo bajo uso agrícola y forestal ha mostrado, generalmente, que los suelos forestales tienen más carbono que los suelos agrícolas, (Lettens et al, 2005).

Los resultados muestran que los bosques primarios tienen más concentración de dióxido de carbono que los suelos agrícolas y forestales.

- El dióxido de carbono en el suelo debe estar bien equilibrado si hay algún desequilibrio afecta el ciclo del carbono y por ende tienden a liberar a la atmosfera el CO₂, afectando las reservas de carbono en el suelo y a la vez el aumento del CO₂ a la atmosfera.
- La humedad del suelo fue de un 34 % es intermedia, la misma es mayor en suelos muy húmedos ya que la composición está restringida por altos valores de humedad tanto los organismos descomponedores como las plantas son más productivas bajo condiciones de humedad intermedio donde cuentan con disponibilidad de suficiente oxígeno, la tasa de respiración decae a valores menores de 30 a 50 % (Haynes, 1986).

5.0 CONCLUSIONES

- A pesar del corto periodo de tiempo y dificultad de extensión de la investigación debido al factor económico se encontró una relación significativa con la pendiente del terreno principalmente para el área plana que presento un mayor incremento de CO₂ ya que uno de los factores que influyen en el contenido de materia orgánica es la pendiente del terreno, con los otros parámetros no se encontró una relación significativa ya que no son dependientes unos de otros.

- Al sacar un promedio de las medidas de dióxido de carbono en el suelo dio como resultado una cantidad de 473.16 ppm un resultado bastante alto esto se debe al ser un bosque húmedo tropical ya que como este bosque no ha sido intervenido por el ser humano no han sido alterados los reservorios de carbono en el suelo.

- Al relacionar todos los parámetros (materia orgánica, pendiente del terreno, carbono orgánico, temperatura) con la concentración de CO₂ utilizando el análisis estadístico Ancova se concluye que no hay variación entre materia orgánica , carbono orgánico y temperatura ya que no mostraron un grado de variación significativo porque la relación con la concentración de CO₂ entre ellos es demasiado débil.
- La humedad es intermedia ya que organismos descomponedores como lombrices, hongos, nematodos son más productivos bajo condiciones de humedad intermedias, donde cuentan con disponibilidad de suficiente oxígeno esto se debe a una reducción del espesor de la película de agua sobre la superficie del suelo, lo que sucede frecuentemente en los bosques húmedos tropicales
- La temperatura no se relaciono con la concentración de CO₂ ya que la temperatura no vario al ser relacionada con este parámetro y por si sola no inciden en los cambios que ocurren en el aumento o disminución de la concentración de CO₂ en el suelo por ende no se relaciona con la concentración de CO₂ puede deberse a que la temperatura es un factor que afecta la respiración del suelo ya que a mayor temperatura hay una menor tasa de descomposición de la materia orgánica.
- Los resultados demuestran, principalmente, que desde el suelo de los bosques tropicales se pueden emitir cantidades considerables de carbono

hacia la atmosfera, y que factores ambientales como la temperatura del suelo, ejercen un control significativo sobre las tasas de emisión. Un incremento en la emisión de CO₂ desde los suelos de estos ecosistemas, en respuesta a los cambios ambientales, puede tener grandes implicaciones en el balance global de carbono.

6.0 RECOMENDACIONES

- Esta investigación en los suelos es necesaria continuarla por todo lo que implica el hecho de la pérdida de bosques, el desbalance en el ciclo del carbono, el aumento de dióxido de carbono en la atmosfera por ello se debe recalcar la importancia de que nuestros suelos actúen como un reservorio de carbono y una medida de mitigación existente al cambio climático por ello se debe contar con sumideros de carbono como la fijación del CO₂ de la atmosfera por la fotosíntesis de las plantas, mantener el equilibrio en el balance de carbono, la mejora en la gestión del suelo, y prácticas agrícolas que incrementen el contenido de materia orgánica en el suelo.
- Prolongar el tiempo de muestreo para determinar si existe una relación con otros parámetros que intervienen en la concentración de dióxido de carbono en el suelo presentada en condiciones ambientales distintas durante un año.

- Trabajar de manera conjunto con instituciones gubernamentales y no gubernamentales para reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera y que se incentive a los jóvenes universitarios a investigar ya que Panamá no se escapa de los estragos del cambio climático.

Bibliografía

- **Batjes, NH 1996.** Carbono total y nitrógeno en los suelos del mundo. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163.
- **Bauhaus, J., Barthel, R. (1995).** Mechanisms for carbon and nutrients release and retention in beech forest gaps. II. The role of soil microbial biomass. *Plant soil.* 168- 169, 585-592
- **Brinkman, R., Sombroek, WG 1996.** Los efectos del cambio global en las condiciones del suelo en relación con el crecimiento de las plantas y la producción de alimentos. En F. y WG Sombroek eds. *Cambio Climático Global y Producción Agropecuaria.* Bazzaz FAO y Wiley, Chichester, Reino Unido. p 49-63.
- Binkley, D; Giardina, C. 1998. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochem* 42:89-106.

- **Bocanegra, Oviedo, M.L. 2006 - 2007.** Medición de la Respiración del Suelo en Ecosistemas Mediterráneos Con Sistemas de Cámaras y Analizadores Tipo IRGA. Consultado el 28 de febrero del 2013.
Disponible en <http://www.ugr.es/~andyk/Theses/TesisLMOB.pdf>
- **Burés, S (2004).** La Descomposición de la Materia Orgánica. (en línea). Consultado el 24 de junio del 2013 Disponible: <http://www.infororganic.com/node/>.
- **Coyne, M. 2000.** Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid, ES, Paraninfo. 416p.
- **Croat, T. B. 1978.** Flora of Barro Colorado Island. Stamford University Press. 943 p.
- **Dupouey, JL, Siguand, G., Bateau, V., Thimonier, A., Dholes, JF, Nepveu, G., Bergé, L. Augusto, L., Belkacem, S., Nys, C. 1999.** Stocks et dans flujo de carbone les forêts françaises. CR Acad. Agric. P. 85 (6): 293-310.
- **ENKERLIN, Ernesto y Cano, Gerónimo.1997.** Ciencia ambiental y Desarrollo sostenible. International Thompson Editores. México, 1997.

- **FAO, 2005.** Capitulo 2. La evaluación del almacenamiento del carbono en el suelo y los principales cambios. Consultado el 12 de abril del 2013. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s0a.htm#TopOfPage>.
- **L. Lessard R.et al. (S. f).** El ciclo de carbono. Consultado el 20 de marzo del 2013. Disponible en [elciclodelcarbono.pdf](#).
- **Enciclopedia libre Wikipedia.** S. f. Ciclo del carbono (en línea). Consultado el 21 de marzo del 2013. Disponible en es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbono.
- **Instituto Smithsonian de investigaciones tropicales.** Cuantificación y explicación de la variación en piscinas y flujos de carbono. Consultado el 1 de marzo del 2013. Disponible en <http://www.ctfs.si.edu/group/Science+Initiatives/Carbon+>
- **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 el 15 de abril del 2013. Disponible en http://books.google.com.ec/books?id=p9yfvDILqEAC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

- **Hendricks, P., R. Parmelee, Cressley, D. Coleman, D., Odum, E., Groffman, P. 1986.** Detritus redes alimentarias en convencionales y la labranza cero. Agro sistemas Biociencias 36 (6) :374-380
- **Hastings, S. J., W. C. Oechel, et al. (2005).** "Diurnal, seasonal and annual variation in the net ecosystem CO₂ exchange of a desert shrub community (Sarcocaulis) in Baja California, Mexico." Global Change Biology 11: 927–939.
- **IPCC. 2000.** Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura informe especial. Cambridge University Press 377 páginas
- **Janssens, I. A., H. Lankreijer, Et Al. (2001).** "Productivity Overshadows Temperature in Determining Soil and Ecosystem Respiration across European Forests." Global Change Biology. Pag 269 - 278.

- **Juszczak. R. 2011.** Chamber measurement techniques of CO₂ (Reco, NEE) & CH₄ fluxes. Consultado el 28 de febrero del 2013. Disponible en Chambers_ Juszczak. Pdf.
- **Kosch Josefina.2009.** El libro de oro. Consultado el 10 de julio del 2013. Disponible en <http://www.eumed.net/libros-Tovargratis/2009c/568/DE%20LA%20MINERIA%20SOBRE%20EL%20MEDIO%20AMBIENTE.htm>
- **Matear Rj ,(s.f)** Hirst Ac Climate Change Feedback On The Future Oceanic CO Uptake Tellus Series B-Chemical And Physical Meteorology 51 (3): 722-733
- **Maza, H; Muñoz, F. 2004.** Problemas y oportunidades de los recursos naturales renovables y de la agroforestería de la Región Amazónica Ecuatoriana. UNLPROMSA.156p.
- **Mora J, Ramírez. Diana et al .2010.**Efectos del cambio climático sobre la Agricultura. Consultado el 15 d3 julio del 2013. Dipsonible en http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/41622/2010-35-Panam%C3%A1_cambio_clim%C3%A1tico_en_agricultura-L971-vf.pdf
- **L. Muller .H. 2008.** CTFS global forest carbon research initiative overview of planned research. Consultado el 4 de marzo del 2013. Disponible en

http://www.ctfs.si.edu/data///documents/CarbonInitiativeOverview_20080902.pdf.

- **Luo, Y; Zhou, X. 2006.** Soil respiration and the environment. Estados Unidos, Elsevier. 316p.
- **L. Muller. Helen y Larjavara. M. 2011.** Woody debris research: Overview. CTFS Global Forest Carbon Research Initiative. Consultado el 4 de marzo del 2013. Disponible en http://www.ctfs.si.edu/data///documents/Woody_Debris_Overview_2011_05_02.pdf. Formato PDF.
- **Pérez. Aguilar, A. Condit. R; et al.(2005).** Metodología empleada en los censos de la parcela de 50 hectáreas de la isla de barro colorado, Panamá (en línea). Consultado el 21 de abril del 2012. Disponible en <http://ctfs.arnarb.harvard.edu/webatlas/onlinepubs/ParcelaBCIMetodo2005.pdf>.
- **P. Pérez-Batallón, G. Ouro, A. Merino y F. Macías.1998.** Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de

CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos silvícola. Edafología.
Volumen 5.pag 83-93

- **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.
- **Rojas, E.** Arnulfo. 2013. Relación del contenido de material orgánica con el relieve del terreno. Consultado el 8 de octubre del 2013 (en línea). Disponible en www.agr.una.py/revista/index.php/..179
- **Ryan, M; Law, B. 2005.** Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. Biogeochemistry 73: 3–27

8. O ANEXOS



Fig. 10. Procedimiento para tomar la muestra de suelo



Fig. 11. Pasos para medir la concentración de CO_2 en el suelo



Fig 12 Ubicación de los anillos de medición



Aparato de medición automático de CO₂ del suelo



Macerado y tamizado de la muestra de suelo



Fig 13 Procedimiento para el análisis de materia orgánica

