UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

INGENIERÍA AMBIENTAL

P R O Y E C T O D E I N V E S T I G A C I Ó N

Y

D E S A R R O L L O

PREVIO A LA OBTENCIÓN EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

TEMA

“Cuantificación de Carbono Microbiano y Carbono Orgánico Total en el suelo de dos parcelas del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.”

PRESENTA

MARCO ANTONIO ZARUMA CORAL

TUTOR

ING. PEDRO DAMIÁN RÍOS GUAYASAMÍN M.Sc.

PASTAZA- ECUADOR

2016

AUTORÍA DEL TRABAJO

Marco Antonio Zaruma Coral declara que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de su exclusiva responsabilidad.

_____

Marco Antonio Zaruma Coral

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Director de proyecto de investigación y desarrollo denomina **"Cuantificación de Carbono Microbiano y Carbono Orgánico Total en el suelo de dos parcelas del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica"** "del autor: **Marco Antonio Zaruma Coral** con CI: 160060452-2, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúnen los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

M.Sc. Pedro Ríos

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

UNIDAD DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

Oficio No. 139-UTI-UEA-2016
Puyo, 21 de Junio de 2016

667 1408

Señores
Secretaría Académica U.E.A.
Presente.-

Por medio de presente CERTIFICO que:

El proyecto de titulación, investigación y desarrollo correspondiente a **ZARUMA CORAL MARCO ANTONIO**, con el Tema: **"CUANTIFICACIÓN DE CARBONO MICROBIANO Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL EN EL SUELO DE DOS PARCELAS DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA"**, de la Carrera de Ing. Ambiental, Director de Proyecto. Ing. Pedro Ríos. MsC., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 03%. Informe generado con fecha 13 de junio de 2016 por parte del Director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Elías Jachero Robalino MsC.
UNIDAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DE LA UEA
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

NOTA: Adjunto Informe generado el 13 de junio de 2016 por parte del Director.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS
21 JUN 2016 HORA 13:44
RECIBIDO POR Mosa B
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

www.uea.edu.ec

Campus UEA, Paso Lateral km. 2 1/2 Vía Napo
Tel: 03-2888118 – Telefax: 03-2888119

CIPCA, km 44 vía Puyo - Tena
Tel: 03-2300653

Puyo, Pastaza - Ecuador

CERTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación y desarrollo titulado, **"Cuantificación de Carbono Microbiano y Carbono Orgánico Total en el suelo de dos parcelas del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica**", bajo la responsabilidad estudiante egresado Zaruma Coral Marco Antonio ha sido revisado conforme a los requisitos y lineamientos que norma la Universidad Estatal Amazónica, Autorizados su presentación.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

_____

Dr. Pablo Lozano
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

_____

M.Sc. Bolier Torres
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

_____

Dr. Roldan Torres
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Agradecimiento

Agradezco a Dios primeramente por brindarme salud y fuerza para lograr mis objetivos de vida.

A mi familia por estar siempre pendiente de mí en todos los aspectos y por su apoyo lo cual me ha llevado a formarme de buena manera.

A la Universidad Estatal Amazónica por la oportunidad de pertenecer a ella.

Al ingeniero Pedro Ríos por darme la oportunidad de vincularme al proyecto de investigación y así lograr el objetivo de graduarme, de la misma manera a los ingenieros Leo Rodríguez y Edison Segura por el apoyo y colaboración en el proyecto en los análisis estadísticos.

Al PhD Carlos Bravo por brindar su conocimiento en lo que se refiere al tema de suelos.

También a los ingenieros Jorge Reyes, Derwin Viáfara y Andrea Tapuy por brindarme el conocimiento para la utilización de materiales y equipos de laboratorio necesario para ejecutar el proyecto.

A mis estimadas compañeras Yajaira Malucin y Jessica Romero quienes me brindaron su ayuda y apoyo en todo el transcurso del proyecto.

De igual manera a todos los estudiantes de tercer semestre de ambiental que colaboraron en la preparación del suelo

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo cuantificar la cantidad de Carbono Orgánico Total y Carbono Microbiano del suelo en tres compartimientos de dos parcelas ubicadas en el Centro de Investigación, Posgrados y Conservación Amazónica (CIPCA) en la Provincia de Pastaza, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Parroquia Carlos Julio Arosemena Tola, en el kilómetro 44 de la vía Puyo – Tena; la altitud es 578 y 568 msnm. La temperatura promedio es de 18,6 °C para el 2011 y una precipitación anual media anual que varía de 1000 a 4000 mm, con una humedad relativa del 77%,

Los compartimentos de suelo fueron 0-5, 5-10 y 10-30 centímetros profundidad en dos parcelas con tres sistemas silvícolas industriales SSI 1= Solamente *Myroxylon balsamum* (Monocultivo), SSI 2= Monocultivo de *Ocotea quixos* y SSI 3= *Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos* en Asocio al 50%. Las especies de *Myroxylon balsamum* (Fabaceae) y *Ocotea quixos* (Lauraceae), aportan al manejo sostenible de los recursos naturales y representan una alternativa para la economía verde del país

La metodología utilizada fue Fumigación-Extracción mediante cloroformo (Vance *et al.*, 1987) para determinar Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Microbiano de Suelo (CMS) presentes en las profundidades muestreadas, los cálculos se los realizaron en mg de Carbono por kilogramo de suelo y en kg de Carbono por hectárea de suelo, para los análisis de los datos se utilizó análisis de varianza (ANOVA), prueba de Tukey (análisis de comparación de medias), t-Student (muestras independientes) y correlación de Pearson.

Los resultados muestran que el COT y CMS en mg kg^{-1}se encuentra con mayores concentraciones en la parcela alta con valores de 11788,88 y 2418,73 respectivamente, sin embargo en unidades de kg ha^{-1} se encuentra con mayor concentración en la parcela baja, donde interfirió la densidad aparente del suelo teniendo la parcela baja mayor densidad aparente con un valor de 2886,44 para COT y 743,08 para CMS.

El proyecto se realizó bajo el permiso de investigación 005-IC-FLO-FAU-DNB/MA

Palabras claves: cambio climático, carbono orgánico total, carbono microbiano del suelo.

Abstract

This research has the aim to quantify Soil Microcial Carbon (CMS) and Total organic Carbon (COT) in three different soil depths of two parcels (upper parcel and lower parcel). The parcels are located in Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), Carlos Julio Arosemena County, Pastaza Province, in the Km 44 following the main road Puyo-Tena. Parcels are located at: 578 and 568 m.a.s.l. with a mean temperature of 18,6ºC with a presipitation that goes from 1000 to 400 mm and 77% of relative humidity.

Soil depths were taken at 0-5 cm; 5-10 cm and 10-30 cm in two parcels with three Silvicultural Industrial Systems, T1= *Myroxylon balsamum* (Monoculture), SSI2= Monoculture of *Ocotea quixos* and T3= *Myroxylon balsamum* and *Ocotea quixos* in 50% share. *Myroxylon balsamum* (Fabaceae) and *Ocotea quixos* (Lauraceae) improve the management of natural resources as an alternative for Green economy in the country.

The research used the fumigation-extraction methodology (Vance *et al.*, 1987) in order to determine the ammount of CMS and COT present at all depths in all samples. The ANOVA results are shown in $mg.kg^{-1}$ and $kg.ha^{-1}$. It is also presented a mean comparison don by Tukey and t-student for independent samples (between the two parcels under study), furthermore a Pearson correlation is presented to analyze the specific interactions among results.

The results show that COT and CMS are present in higher concentrations in the upper parcel with 11788, 88 y 2418, 73 in $mg.kg^{-1}$ repectively. However the results change when presneted in kilogram per hectar, with 2886, 44 $kg.ha^{-1}$ from COT y 743, 08 $kg.ha^{-1}$ from CMS.

The project was established under the research permit: 005-IC-FLO-FAU-DNB/MA

Keywords: climate change, total organic carbon, soil microbial carbon

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I **1**

1.1 Introducción 1

1.2 Problema 3

1.3 Hipótesis de la investigación 3

1.4 Objetivos 4

1.4.1 Objetivo General 4

1.4.2 Objetivos Específicos 4

CAPÍTULO II **5**

2.1 Fundamentación teórica de la investigación 5

2.1.1 Efecto invernadero 5

2.1.2 Sumideros de carbono 5

2.1.3 Alternativas para mitigar el cambio climático 6

2.1.4 Secuestro de carbono en el suelo 6

2.1.5 Carbono orgánico del suelo 7

2.1.6 Biomasa microbiana 8

CAPÍTULO III **9**

3.1 Metodología de la investigación 9

3.1.1 Localización 9

3.1.2 Variables de estudio 10

3.1.3 Tipo de investigación 10

3.1.4 Métodos de investigación 10

3.1.5 Cálculo para carbono microbiano y carbono orgánico total 15

3.2 Diseño de la investigación 17

3.3 Tratamiento de los datos 17

3.4 Recursos humanos y materiales 18

CAPÍTULO IV **19**

4.1 Resultados y discusión 19

4.2 Análisis del secuestro de COT ($mg.kg^{-1}$) en el suelo de tres SSI (Sistemas Silvícolas Industriales) en las parcelas Alta y Baja del CIPCA. 19

4.3 Análisis del secuestro de COT ($mg.kg^{-1}$) en el suelo de tres profundidades en las parcelas Alta y Baja del CIPCA. 21

4.4 Análisis del secuestro de CMS ($mg.kg^{-1}$) en el suelo de tres SSI (Sistemas Silvícolas Industriales) en las parcelas Alta y Baja del CIPCA. 24

4.5 Análisis del secuestro de CMS ($mg.kg^{-1}$) en el suelo de tres profundidades en las parcelas Alta y Baja del CIPCA 25

CAPÍTULO V **31**
5.1 Conclusiones: 31
5.2 Recomendaciones: 32
CAPÍTULO VI **33**
6.1 Bibliografía 33
CAPÍTULO VII **37**
7.1 Anexos 37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de las parcelas. 9
Tabla 2. Análisis de correlación de Pearson en la parcela alta. 28
Tabla 3. Análisis de correlación de Pearson en la parcela baja. 28
Tabla 4. Comparación de variables de estudio de las parcelas alta y baja. 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parcelas en estudio para cuantificar COT Y CMS. 9
Figura 2. Procedimiento para obtención de sustratos de Carbono microbiano y Carbono Orgánico Total. 12
Figura 3. Procedimiento para elaboración de curva de calibración de Carbono. 14
Figura 4. Proceso de cuantificación de CMS y COT. 15

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas de calibración de Carbono. 19
Gráfico 2. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en SSI en la parcela alta. 20
Gráfico 3: Medias de COT (mg .kg^{-1}) en SSI en la parcela baja. 20
Gráfico 4. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela alta 21
Gráfico 5. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela baja 22
Gráfico 6. Medias de CMS (mg kg^{-1}) en SSI en la parcela alta. 24
Gráfico 7. Medias de CMS (mg kg^{-1}) en SSI en la parcela baja. 25
Gráfico 8. Medias de CMS (mg..kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela alta. 25
Gráfico 9. Medias de CMS (mg.kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela baja. 26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estructura de la parcela alta ubicada en el CIPCA. X = *Myroxylon balsamum*; O = *Ocotea quixos*; □ = área de muestreo de crecimiento y biomasa; ▉ = área de muestreo.....37

Anexo 2. Estructura de la parcela baja ubicada en el CIPCA. X = *Myroxylon balsamum*; O = *Ocotea quixos;* □ = área de muestreo de crecimiento y biomasa; ▉ = área de muestreo. 38

Anexo 3. Procedimientos para elaboración de sustancias utilizadas en el presente proyecto de investigación y desarrollo.....39

Anexo 4. Elaboración de reactivos. 39

Anexo 5. Incubación de suelo por 48 horas y separación de muestras para determinación de COT y CMS 39

Anexo 6. Muestra fumigadas en cloroformo en un decantador de vacío 39

Anexo 7. Agitación y separación del sustrato en muestras no fumigadas y fumigadas.....39

Anexo 8. Separación de 5 ml de muestra para determinación de COT y CMS.....39

Anexo 9. Lectura de absorbancias pertenecientes a las muestras no fumigadas y fumigadas 39

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

El cambio climático es un cambio del estado del clima que puede ser identificado por los cambios en el promedio y/o la variabilidad de sus propiedades y que perdura durante un período extendido, como décadas o más (Torres, *et al.,* 2015).

América latina contribuye con el 5,3 % de las emisiones de CO_2 mundial y su participación en el cambio climático es mínima, sin embargo Ecuador constituye uno de los países con menos emisiones precipita; no obstante los países en vías de Desarrollo se encuentran mayoritariamente amenazados a los impactos del cambio climático, en razones que presenta menos capacidad de resistencia a los riegos climáticos (Aguirre, *et al.,* 2009).

Los bosques húmedos tropicales son productor de grandes cantidades de biomasa y contienen altos valores ecológicos, cuando estos ecosistemas son modificados para asentamientos humanos, se altera el equilibrio natural de estos espacios por consiguiente afecta a la fertilidad del suelo, al mismo tiempo que el carbono que se encuentra en el suelo y en vegetación arbórea es liberado a la atmosfera (Clavijo, 2016).

Modelos climáticos futuros predicen que el cambio climático producirá daños severos sobre los ecosistemas y también se verán afectadas sociedades de la región amazónica, ya que el cambio climático no solo afectará al suelo, también traerá problemas como aumento de temperatura, cambio en los patrones de precipitación y aumentos de eventos extremos, junto con otro tipo de factores, como la sobreexplotación de recursos naturales, los cuales al producir daños severos e impactos económicos esto conlleva a la pérdida de biodiversidad y por ende la extinción de especies (OTCA, 2014).

Las actividades humanas como el uso de combustibles fósiles para generar energía, el cambio del uso del suelo y la silvicultura están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente el CO_2 unos de los gases mayoritariamente emitidos a la atmosfera. La vegetación cumple un papel fundamental en este problema ya que asimila el carbono incorporándolo a su estructura, lo fija y lo mantiene por largos periodos con el proceso llamado fotosíntesis, de esta forma los bosques se convierten en grandes sumideros de carbono (Weart, 2006).

La agricultura también puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producido por el cambio climático, esto se puede lograr mediante servicios del ecosistema, la disminución de los cambios de uso de la tierra, controlar la explotación ganadera, la agricultura de conservación y sistemas agroforestales. Además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, las tierras de pasto y cultivo bien manejadas pueden secuestrar cantidades significativas de carbono (Ferreiro, 2006).

El manejo sostenible de los bosques, la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los mismos (REDD), la repoblación y restauración forestal, así como los productos madereros sostenibles, que sustituyen los materiales y combustibles más intensivos en carbono, constituyen importantes alternativas de mitigación (FAO, 2005).

El carbono orgánico en el suelo es un factores importante ya que cumple un papel fundamental en el ciclo del Carbono, que se encuentra mayoritariamente en la biosfera ocupando un 69,8%, el carbono orgánico en el suelo suele estar de diferentes formas, en residuos orgánicos poco alterados, vegetales, animales, microorganismos y en forma de humus (Martínez, *et al.*, 2008).

El silvopastoreo es una alternativa que ayuda a mitigar en cambio climático principalmente producido por la ganadería, mostrando resultados considerables de producción pecuaria en donde las plantas leñosas perennes como árbol y/o arbusto, interactúan con componentes como herbáceas y/o animales bajo un sistema de manejo integral. La interacción de leñosas perennes como árboles y arbustos en lugares ganaderos permite aumentar la fertilidad del suelo y evitar a su vez que sufra erosión (Mahecha, 2009).

Muchos establecimientos ambientales a nivel mundial han tratado de ejecutar el concepto de desarrollo sostenible tratando de beneficiar a las necesidades actuales sin perjudicar las futuras, queriendo establecer un campo de armonía entre hombre y naturaleza, como principal productor de materia prima, alimentos y fibra está el suelo que es una fuente esencial para la vida que por hoy se ve amenazada por muchos factores, el principal es el mal uso que le da el hombre y los principales daños que causa en él y que es difícil remediarlo (Macías, 2004).

La materia orgánica en el suelo es un indicador es un indicador importante para determinar su calidad, no solo en la productividad agrícola sino también en la calidad ambiental como captura de carbono y calidad del aire, además; el mejoramiento del manejo de la tierra, control de la degradación y deforestación aumenta la captura de carbono en los suelos, haciendo atractivas las inversiones en el sector rural para los agricultores (Robert, 2002).

En el Ecuador existen necesidades por implementar y ampliar investigaciones acerca de la importancia que tienen los bosques no solo a nivel económico sino también desde el punto de vista ambiental y los sectores sociales involucrados, el país está siendo explotado exterminando cantidades significativas de bosque para convertirlos en campos agrícolas afectando la composición del suelo ya que los bosques cumplen un papel fundamental en el secuestro de carbono (Viteri & Cordero, 2010).

1.2 Problema

Las alteraciones ambientales inciden en la estabilidad de los ecosistemas, esto influye en la captura de carbono presente en el suelo; por lo cual es necesario su monitoreo al fin de tener indicadores tempranos de degradación silvícola.

1.3 Hipótesis de la investigación

Si se cuantifica Carbono Microbiano del Suelo y Carbono Orgánico Total en las parcelas de suelo orgánico y aluvial del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica se podrá conocer el potencial de secuestro de carbono de las parcelas del proyecto Sistemas Silvícolas Industriales como un aporte Multifuncional a la Economía Verde en la Amazonía.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Cuantificar la cantidad de Carbono Microbiano del Suelo (CMS) y Carbono Orgánico Total (COT) de dos parcelas en tres profundidades de sistemas silvícolas industriales del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el secuestro de carbono llevado a cabo a profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm y 10-30 cm en tres tipos de sistemas silvícolas industriales establecidos en el CIPCA, a través de la cuantificación de COT y CMS.

- Determinar el secuestro de carbono existente de dos parcelas en sistemas silvícolas industriales del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica, a través de la cuantificación de COT y CMS.

CAPÍTULO II

2.1 Fundamentación teórica de la investigación

2.1.1 Efecto invernadero

Este fenómeno se refiere al elevado incremento de temperatura sobre la tierra, la atmosfera es una delgada capa de gases que rodea nuestro planeta incluyendo mayoritariamente dos tipos Nitrógeno en un 79% y Oxigeno en un 20%; el 1% está compuesto por gases como Argón y dióxido de carbono con 09% y 0,03% respectivamente. (Caballero, *et al.*, 2007).

El uso intensivo de las tecnología y las políticas gubernamentales, el uso irracional de los recursos naturales que son necesarios para la explotación agraria en países tropicales de esta forma experimentan un deterioro acelerado y aportando a un mayor porcentaje de contaminante (Alonso, 2011).

Debido a este fenómeno existe un aumento de CO2 atmosférico que puede estar vinculado con procesos naturales como la tala de bosques y quema de combustibles fósiles, el carbón y petróleo ocasionando severos daños al medio ambiente y alterando todo tipo de ecosistemas (Caballero *et al*., 2007).

2.1.2 Sumideros de carbono

El suelo es conciderado como el segundo recervorio de carbono despues de los ocenos (Pontevedra, 2004*)* el carbono almacenado en los suelos forestales representan el 36% del carbono total presente a un metro de profundidad (Zambrano *et al.*, 2004*)* se considera que los sumideros de carbono son una solución para mitigar los efectos de cambio climático (Rosas, 2002), las cantidades de carbono se estima que se ecuentra en 70 ton/ha para tierra en actividades de pastoreo, cantidades similares se encuentran almacenados en suelos forestales (Zambrano *et al*., 2004).

En sistemas ganaderos la incorporacion de plantas leñosas perennes como arboles y arbustos esto ayuda a aumentar la fertilidad del suelo mejorando su estructura y por ende disminuir procesos que conllevan a la erosión (Mahecha, L. 2009), la reforestación principalmente en suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, tiene un papel importante en el aumento de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en biomasa como en el suelo (Robert, 2002)

2.1.3 Alternativas para mitigar el cambio climático

El secuestro de carbono del suelo se considera una alternativa para mitigar el cambio climático o los efectos del calentamiento global de la atmosfera *(*Hontoria, *et al*., 2004*)*.

La fotosíntesis es una de las características esenciales para reducir el calentamiento global y también detener la certificación de los suelos sirviendo como un generador básico de vida y además siendo la única manera natural conocida para transformar el material orgánico en bióxido de carbono y almacenarlo de diferentes formas. Las formas de mitigar este problema pueden ser garantizar la base de la producción primaria, producción eficaz de la cubierta vegetal donde es importante tener presente la captura de bióxido de carbono de los sistemas segregados que tienden a estabilizar su relación producción-consumo, implementación de sistemas agro pastoriles que incluye presencia de cobertura vegetal, promoción de productos agropecuarios y forestales de mayor persistencia en uso, para incrementar la relación volumen-tiempo en la captura de carbono (Chapela, 2004).

Las prácticas agroforestales no tienen solo el potencial de almacenar carbono en el suelo sino que tienen influencia en el desarrollo sostenible a nivel social aumentar los ingresos agrícolas, restaurar y mantener la diversidad, mantener las reservas hidrológicas y reducir la erosión del suelo (Casanova-Lugo, *et al.*, 2011).

2.1.4 Secuestro de carbono en el suelo

La captura de carbono tiene como objetivo la conservación de este elemento no solo en el suelo sino también en los bosques y otros tipos de vegetación a través de plantaciones, sistemas agroforestales y rehabilitación de bosques degradados entonces mediante estos sistemas se puede tener suministros de carbono *(*Rodriguez,*et al.*, 2002*)*, secuestro de

carbono es una técnica que implica el almacenamiento de CO2 para remover los gases de efecto invernadero a la atmosfera (FAO, 2016).

Los ecosistemas terrestres y el suelo son depósitos considerables de Carbono, los bosques del mundo contienen un estimado de 340 Pg de C (1 Pg = 1015 g) en vegetación, y 620 Pg de C en suelo .Por eso es que los cambios de C en los reservorios pueden tener un impacto negativo o positivo considerable en el balance global de Carbono *(*Brown, *et al.,* 1996*)*, el suelo contiene el 40 % de carbono total dando vital importancia al dar un manejo adecuado al bosque o a plantaciones (Zambrano *et al.,* 2004).

2.1.5 Carbono orgánico del suelo

A escala global las concentraciones de carbono orgánico están en valores de unas 2000 Gt en el primer metro de profundidad del suelo siendo de 3 a 4 veces mayor al carbono que se encuentra en la biomasa vegetal terrestre (BirchThomsen *et al.*, 2007*)*, una reducción de contenido de carbono orgánico del suelo puede incrementar la degradación del suelo por erosión, compactación, perdida de nutrientes, lavado y en general causar la disminución en la biodiversidad del suelo (Brady & Weil, 2008).

En los suelos se encuentras tres formas básicas de carbono: elemental, inorgánico y orgánico. Donde el carbono orgánico es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo, contribuyendo un importante reservorio o fuente emisora de carbono hacia la atmosfera influyendo por lo tanto en el ciclo global de este elemento. En condiciones naturales, el carbono de la materia orgánica se incorpora al suelo a través del aporte continuo del material orgánico, principalmente del origen vegetal, en donde el flujo de carbono orgánico se ve influenciado por factores como: clima, tipo de suelo, cobertura vegetal existente, etc. Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, el carbono orgánico total presente en la materia orgánica, es menos susceptible a los efectos de las prácticas agronómicas a corto plazo, donde toma mayor importancia la razón de descomposición. La cuantificación de fracciones más sensibles de carbono orgánico en el suelo podría proveer mejor información de los efectos a los cambios de manejo, ya que estas fracciones son usadas por los microorganismos del suelo para su actividad metabólica y la transformación a compuestos más complejos (Ginebra, *et al*., 2015).

2.1.6 Biomasa microbiana

La biomasa microbiana hace referencia a la presencia de microorganismos en el suelo *(*Unigarro *et al.,* 2005), determina el mantenimiento de la productividad de un ecosistema ya que se encarga de las transformaciones que sufre la materia orgánica, debido a esto se puede conocer el estado de fertilidad del suelo y el mantenimiento de esta característica en el tiempo, por esta razón mientras más nutrida se encuentre la planta más micro vida va existir en la zona de sus raíces y va a tener mejor fortaleza ante organismos patógenos. La estimación es posible gracias a elementos como Carbono, Nitrógeno y el Fosforo son esenciales en la conformación de la estructura celular y estos pueden ser extraídos atreves de ciertos métodos (Cadena, *et al.,* 1998).

Se puede estimar la biomasa microbiana del suelo por el método fumigación-extracción exponiendo una muestra de suelo húmedo a cloroformo libre de alcohol ($CHCl_3$) durante 24 horas y a sulfato de potasio 0.5M. La muestra no fumigada no se expone al cloroformo (Vance *et al.,* 1987).

CAPÍTULO III

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Localización

La parcela Alta y Baja de las cuales se tomaron las muestras para la determinación de Carbono microbiano y carbono orgánico total del suelo se encuentran a una altitud de 568 a 578 m.s.n.m., (Tabla 1).

La temperatura promedio de 18,6 °C para el 2011 y una precipitación anual media anual que varía de 1000 a 4000 mm, con una humedad relativa del 77%, de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge corresponde al clima sub tropical lluvioso.

Mientras que el mapa de clasificación bioclimática y ecológica de Ecuador, de Cañadas lo describe como una formación de selva pluvial amazónica, formada por un bosque Pluvial Pre Montano.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las parcelas.

PARCELAS	X	Y	Altura
ALTA	178129	9862568	578msnm
BAJA	177328	9862425	568 msnm

Fuente: Elaborado por el autor, 20016

Estas parcelas se encuentran ubicadas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la biodiversidad Amazónica (CIPCA), en la Provincia de Pastaza, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Parroquia Carlos Julio Arosemena Tola, en el kilómetro 44 de la vía Puyo- Tena, mostrado en el (**Figura 1**).

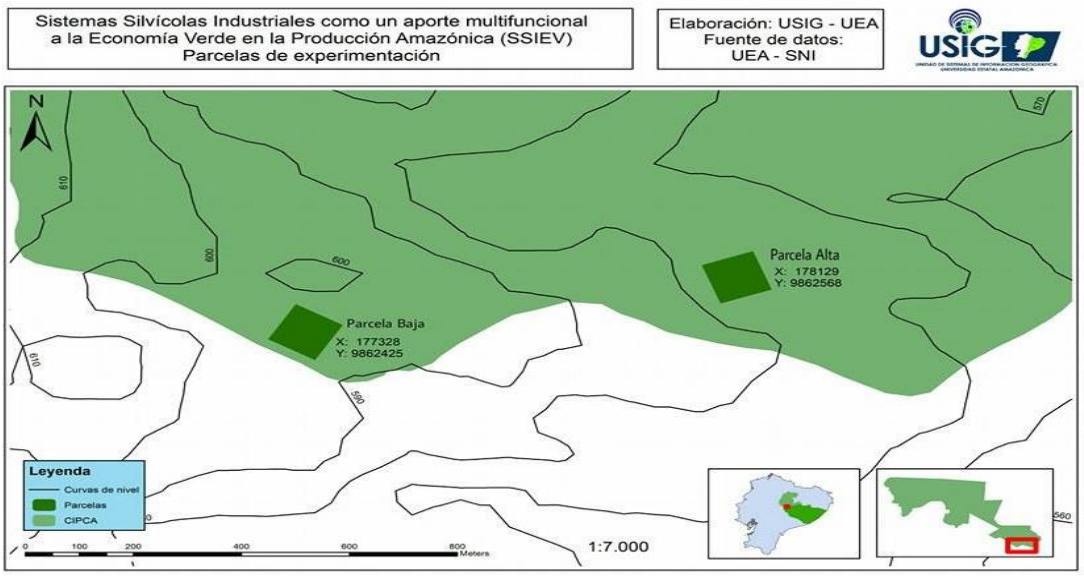


Figura 1. Parcelas en estudio para cuantificar COT Y CMS.
Fuente: Elaborado USIG-UEA. Pedro Ríos, 2014.

3.1.2 Variables de estudio

Variables independientes:

- SSI (Sistema Silvícola Industrial)
- Profundidades
- Parcela

Variables dependientes:

- COT ($mg.kg^{-1}$)
- CMS ($mg.kg^{-1}$)
- COT ($kg.ha^{-1}$)
- CMS ($kg.ha^{-1}$)

3.1.3 Tipo de investigación

Los estudios realizados buscaran cumplir los objetivos propuestos y verificar la hipótesis de investigación una vez que esto haya ocurrido se determinara si la biomasa microbiana presente en las parcelas de estudio tendrán una importancia significativa en la mitigación del cambio climático mediante el secuestro de carbono, ya que existen escasos estudios sobre el tema en la Amazonía ecuatoriana y sería de mayor importante tomar en cuenta la presente investigación.

3.1.4 Métodos de investigación

En el siguiente proyecto de investigación para cuantificación de CMS y COT se realizó métodos de observación y analíticos, donde se tomaron muestras de suelo a tres profundidades en dos tipos de parcelas la parcela alta y la parcela baja ubicadas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica las mismas que contienen sembríos de especies nativas no maderables, utilizando la metodología extracción-fumigación propuesta por Vance en 1987.

3.1.4.1 Recolección y análisis de las muestras.

Para la determinación de carbono microbiano y carbono orgánico total por el método de fumigación y extracción (Vance *et al.,* 1987) se realizó la extracción de muestras de suelo de sistemas silvícolas industriales pertenecientes a un monocultivo de *Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos* y cultivo en asocio de *Myroxylon balsamum* 50 % y *Ocotea quixos 50%*.

Las muestras se tomaron de una forma sistemática del reservorio lábil del suelo a diferentes profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm y de 10-30 cm de los tres diferentes sistemas silvícolas industriales presentes en cada bloque, los pasos para su determinación se detallan a continuación (**Figura *2***):

La muestras aproximadamente de 100 gr. de suelo fue tamizada por una malla de 2 mm y extraídas las raíces se colocaron en fundas ziploc, se procedió separar de cada muestra 20 gr. de suelo seco en un vaso de precipitación y humedecer al 20% de capacidad de campo, dejando reposar herméticamente por 48 horas.

Luego de las 48 horas se tomó el peso total y se dividido para 2 donde se coloca el 50% del peso en un Erlenmeyer de 125 ml para fumigación, el otro 50% para extracción

En las muestras de extracción se colocó 50 ml de sulfato de potasio (K_2SO_4) a 0.5 M, seguidamente se procedió a introducir dicha muestra en un agitador a 250 rpm durante un lapso de tiempo de 30 min, posteriormente se extrajo el sustrato agitado filtrándolo en papel filtro separando la muestra de suelo y del sustrato (K_2SO_4) utilizando un vaso de precipitación para almacenar el sustrato, luego fue trasvasado a un tubo de ensayo para el respectivo análisis.

Las muestras de fumigación se las colocó en un desecador con tapa que contenga conexión a una bomba de vacío, colocado en su interior aproximadamente 50 ml de cloroformo pasando por un proceso de ebullición en el interior del desecador para crear un ambiente de cloroformo por varios minutos.

Repitiendo el paso anterior por dos veces más se procedió a desconectar la bomba y cerrar la tapa del desecador, cubriendo con una bolsa negra para incubar en la oscuridad por un día, posteriormente se liberó el cloroformo.

A continuación se adiciona 50 ml de sulfato de potasio (K_2SO_4) a 0.5 M a las muestras fumigadas, posteriormente se las coloca en un agitador por 30 min a 250 rpm y se extrae el sustrato agitado mediante papel filtro a un vaso de precipitación para luego ser colocado en un tubo de ensayo para el respectivo análisis.

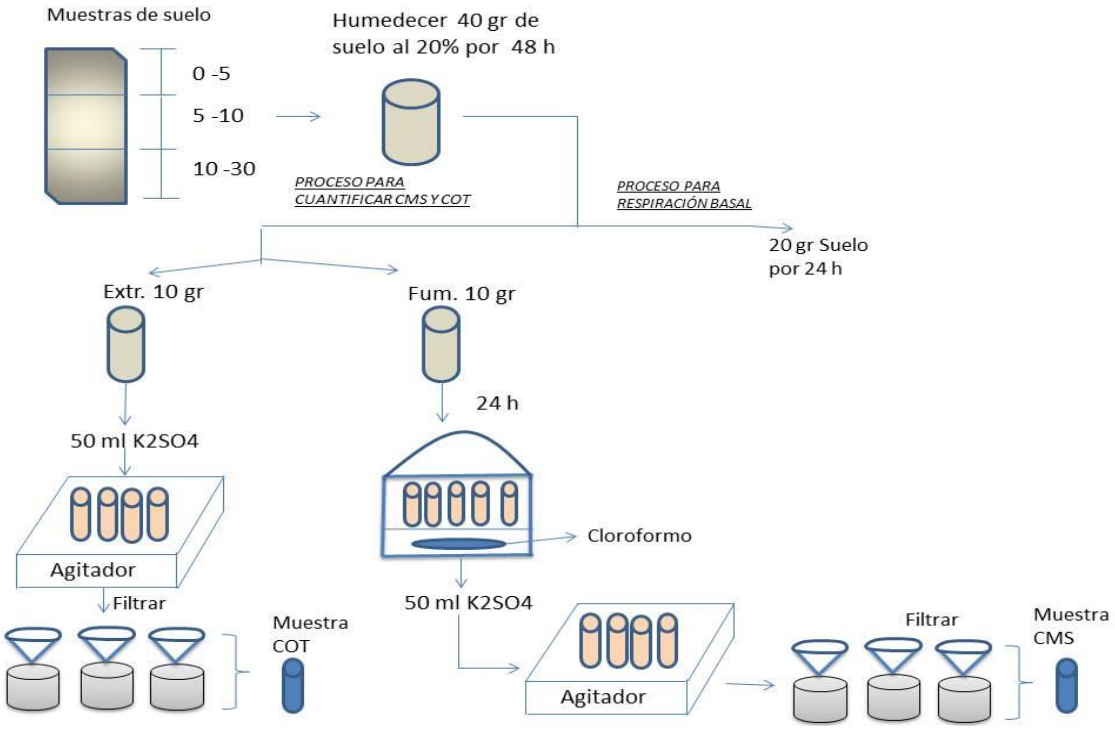


Figura 2. Procedimiento para obtención de sustratos de Carbono microbiano y Carbono Orgánico Total. Fuente: elaborado por el autor, 2016

3.1.4.1.1 Digestión y determinación espectrofotométrica de curva de calibración de carbono

Antes de obtener las absorbancias de las muestras fumigadas y no fumigadas se realizó una curva de calibración **(Figura *3*)**, para obtener una absorbancia de las muestras dentro del rango de la recta (**Gráfico *1***).

Para realizar esta curva se utiliza una solución de Biftalato de potasio, se disolvió 0.1063 gr. de Biftalato de potasio en 50 ml de agua destilada en un balón aforado la cual se encontraba a una concentración de 1000ppm, se toman diferentes alícuotas de esta solución y se las disuelve en concentración de 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 ppm respectivamente, colocadas en balones aforados de 25 ml, realizando el cálculo respectivo para llegar a la concentración deseada utilizando la fórmula:

$$V_1C_1=V_2C_2$$

Dónde:

V_1 = El volumen de la solución madre con el cual partió para hacer la segunda solución.
C_1 = Concentración de la solución madre
V_2 = Volumen total de la solución a preparar con una nueva concentración.
C_2 = La nueva concentración.

Se tomó 5 ml de cada alícuota se las colocó en tubos de ensayo, se les agregó 1 ml de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,1 M y 3 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado 97%-98%, se colocó a digestar por 30 min. a 150 ^oC, dejando enfriar el extracto digerido después de la digestión y se midió la absorbancia en el espectrofotómetro a 600nm.

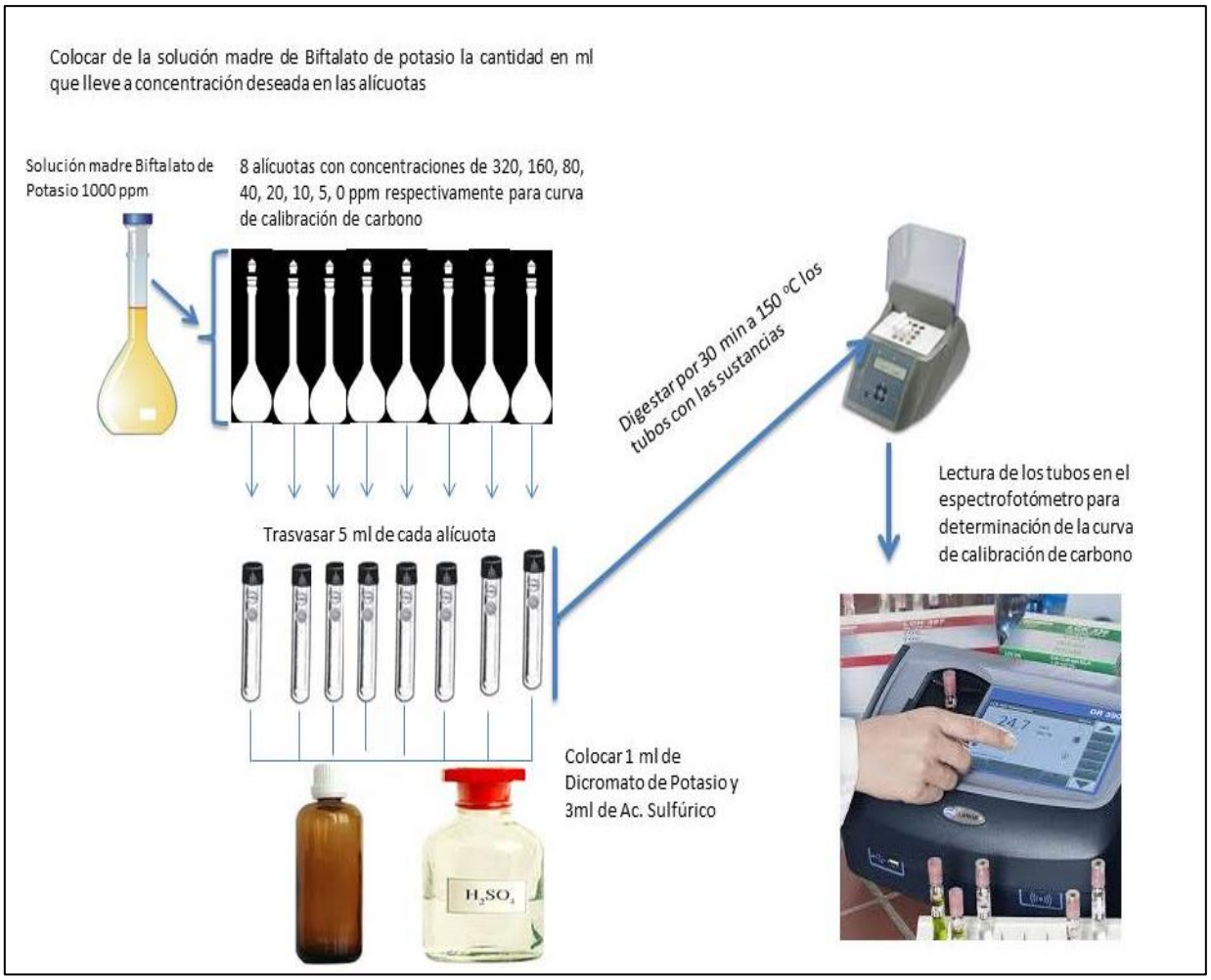


Figura 3. Procedimiento para elaboración de curva de calibración de Carbono**.**
Fuente: elaborado por el autor, 2016

3.1.4.1.2 Digestión y determinación espectrofotométrica de muestras fumigas y no mugidas

Se tomó 5ml de muestra ya sea fumigada o no fumigada y se colocó en un tubo de ensayo con 1 ml Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,1 M y 3ml de Ácido sulfúrico concentrado en el tubo que contiene la muestra, se puso a digestar por 30 min a 150 ^oC.

Se dejó enfría el extracto digerido para medir la absorbancia en el espectrofotómetro a 600nm para obtener la concentración en mg l^{-1} de solución ya sea fumigado o no fumigado.

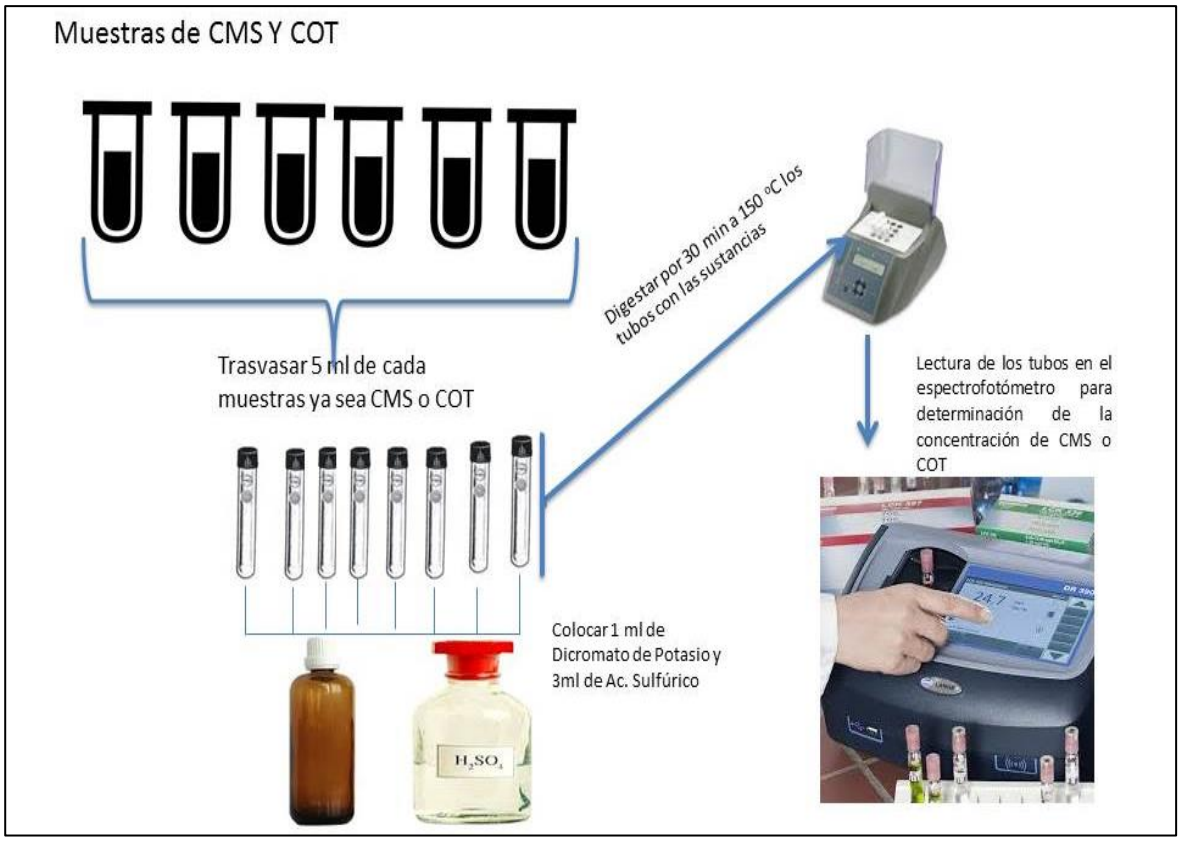


Figura 4. Proceso de cuantificación de CMS y COT.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016

3.1.5 Cálculo para carbono microbiano y carbono orgánico total

- **CMS (mg.l^{-1})**= (MF –MNF) /0.45

  Dónde:

  MF= Carbono total del extracto fumigado (mg l^{-1}).

  MNF=Carbono total del extracto no fumigado (mg l^{-1}).

  0,45=factor de conversión de Vance et al., (1987).

- **CMS (mg.kg^{-1})= (**CMS (mg.l-^{1}) *1000) /N

  Dónde:

  (CMS (mg.l^{-1})= diferencia entre las muestras MF y MNF sobre el factor de conversión.

  1000= valor para llevar a kilogramos.

  N= peso de la muestra analizada.

- **CMS (kg.ha^{-1})= (**CMS (mg kg^{-1})*(D*V*1000))/1000000

  Dónde:

  (CMS (mg.kg^{-1})= cantidad de carbono microbiano por kilogramo de suelo.

  D= Densidad aparente del suelo (g cm^{-3}).

  V= volumen de suelo (m^{3}).

  1000= factor para llevar a kilogramos por hectáreas.

  1000000= factor para llevar de miligramos a kilogramo.

- **COT (mg.l^{-1})=** MNF

  Dónde:

  MNF=Lectura espectrofotométrica de la muestra no fumigada.

- **COT (mg.kg^{-1})= (**COT (mg.l^{-1}) *1000) /N

  Dónde:

  COT (mg.l^{-1})= Lectura espectrofotométrica de la muestra no fumigada.

  1000= valor para llevar a kilogramos.

  N= peso de la muestra analizada.

- **COT (kg.ha^{-1})= (**CMS (mg.kg^{-1})*(D*V*1000))/1000000

  Dónde:

  COT (mg.kg^{-1})= cantidad de carbono orgánico total por kilogramo de suelo.

  D= Densidad aparente del suelo (ton m^{-3}).

  V= volumen de suelo (m^{3}).

  1000= factor para llevar a kilogramos por hectáreas.

  1000000= factor para llevar de miligramos a kilogramo.

3.2 Diseño de la investigación

La presente investigación es de diseño experimental en bloques al azar en dos parcelas con tres sistemas silvícolas industriales y tres repeticiones dentro de las cuales se tomaron tres muestras de suelo en sistemas silvícolas industriales de monocultivo y seis muestras de suelo en los sistemas silvícolas de asocio se descartaron los errores estándares.

Los sistemas silvícolas industriales *Myroxylon balsamum* (Fabaceae) y *Ocotea quixos* (Lauraceae), son árboles que aportan al manejo sostenible de los recursos naturales por consiguiente se las puede considerar como una alternativa para la economía verde del país, se conformaron tres tipos de sistemas silvicolas (SSI) dentro de cada una de las sub-parcelas de 25 x 25 m:

Sistema silvícola industrial 1 (SSI 1)= Solo plantaciones de la especie *Myroxylon balsamum* (Monocultivo).
Sistema silvícola industrial 2 (SSI 2)= Solo plantaciones de la especie *Ocotea quixos* (Monocultivo).
Sistema silvícola industrial 3 (SSI 3)= Plantaciones de la especie *Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos* (Cultivo en Asocio).

3.3 Tratamiento de los datos

Los datos fueron analizados en el software estadístico SPSS versión 22, en el cual se realizarón: la Prueba de Kolmogorov-Smirnoff para observar la normalidad de datos, para homogeneidad se utilizó Prueba de Levene, el análisis de varianza (ANOVA) y la correlación de Pearson.
En INFOSTAT se realizó la prueba de Tukey (para comparación de medias) y finalmente un t-Student (para las muestras independientes).

3.4 Recursos humanos y materiales

Participaron en la colecta de suelos, estudiantes del tercer semestre de ingeniería ambiental, posteriormente otros colaboraron con la limpieza de suelo y tres personas se encargaron del procesamiento de los suelos para la determinación de CMS, COT y Respiración basal, de los cuales el autor fue responsable del análisis de CMS y COT en el laboratorio Ambiental

Los materiales utilizados para determinar Carbono microbiano por fumigación y extracción se muestran a continuación:

Materiales y equipos de laboratorio:

- Vasos de precipitación
- Espátula
- Balanza
- Matraz aforado
- Erlenmeyers
- Tubos de ensayo
- Pipetas volumétricas
- Pera
- Micro pipetas
- Tubos fotométricos
- Espectrofotómetro marca HACH modelo DR6000, serie 1549612 (Alemania)
- Desecador de vacío
- Papel filtro watman N^{O} 42

Reactivos:

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Cloroformo ($CHCl_3$)
- Sulfato de Potasio (K_2SO_4)

CAPÍTULO IV

4.1 Resultados y discusión

El Gráfico 1 muestra las curvas de calibración que se elaboraron para obtener linealidad en las absorbancias, esto permite tener valores exactos en las lecturas de las muestras de suelo en el espectrofotómetro, teniendo en cuenta que las absorbancias de las muestras se cuantifiquen bajo curva de calibración.

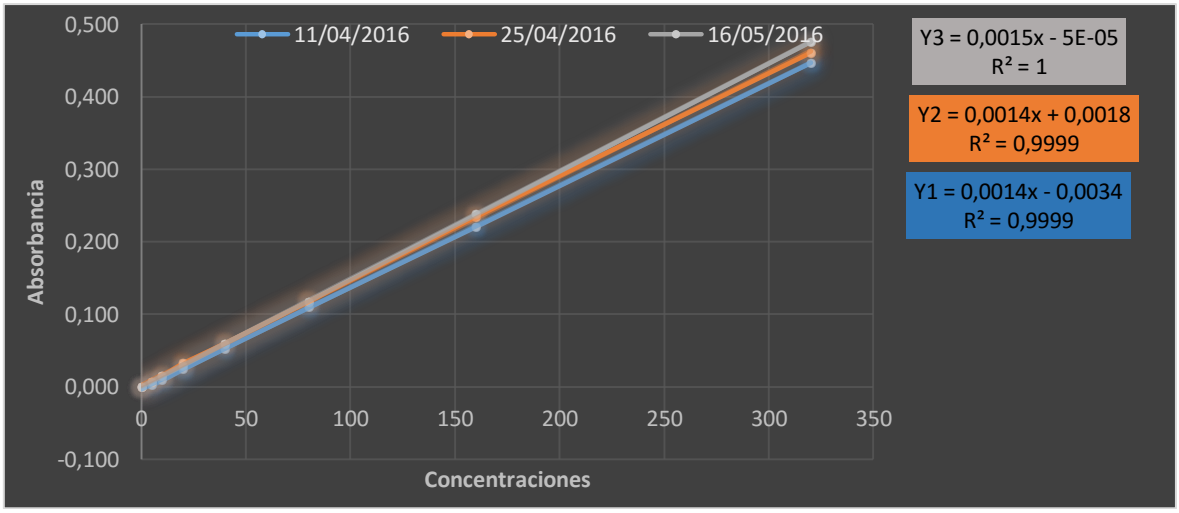


Gráfico 1. Curvas de calibración de Carbono.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016

4.2 Análisis del secuestro de COT (mg.kg^{-1}) en el suelo de tres SSI (Sistemas Silvícolas Industriales) en las parcelas Alta y Baja del CIPCA.

El Gráfico 2 ilustra la prueba de Tukey al 5% para la variable COT (mg.kg^{-1}) en relación al factor sistema silvícola industrial(SSI), donde se determina que el SSI 2 (*Myroxylon balsamum)* posee un mayor contenido de COT que los demás SSI correspondiente a la parcela alta con un valor de 12006,24 mg.kg^{-1}, el SSI 3 con 11724,10 mg.kg^{-1} y el SSI 1 (*Ocotea quixos)* muestra una captura de COT menor con 11481, 24 mg.kg^{-1}, teniendo en cuenta que la muestra de suelo fue tomada de 0,5m a 1,0 de distancia de los SSI.

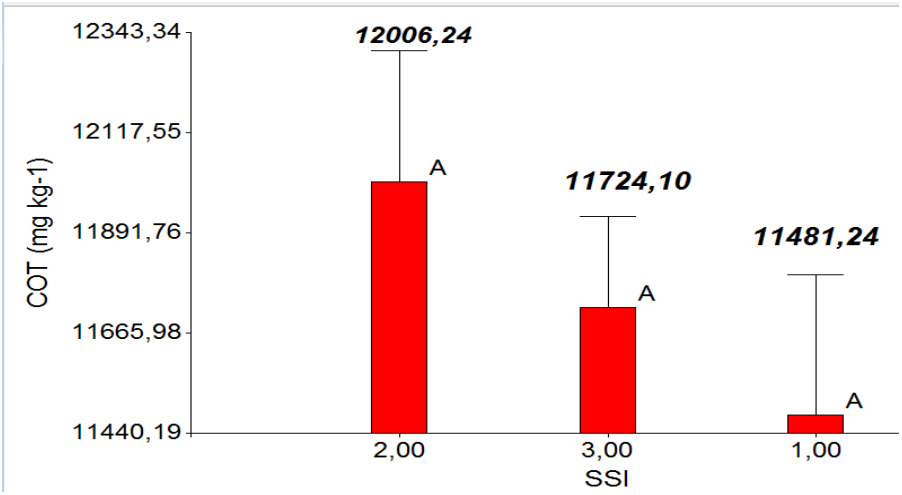


Gráfico 2. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en SSI en la parcela alta.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 3 muestra la prueba de Tukey al 5%, donde se identifica la captura de carbono orgánico total en la parcela baja con respecto a los sistemas silvícolas industriales, en dicha parcela indica que la mayor captura de COT en el SSI 1 (*Ocotea quixos)* con 8763,51 mg.kg^{-1}, seguido de SSI 3 (*Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos* 50% 50%) con 8647, 98 mg.kg^{-1}, el cual es un sistema en asocio, deduciendo el SSI 2 (*Myroxylon balsamum*) obtiene menor captura de COT con 8390,86 mg.kg^{-1}.

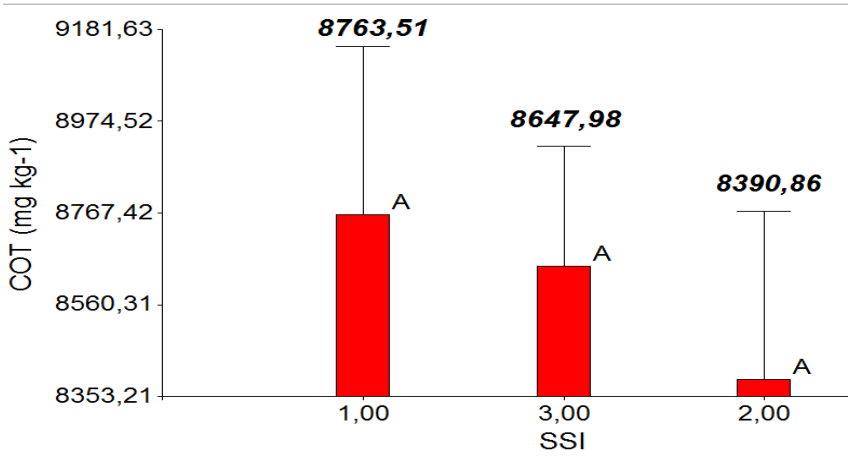


Gráfico 3: Medias de COT (mg .kg^{-1}) en SSI en la parcela baja.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

4.3 Análisis del secuestro de COT (mg.kg^{-1}) en el suelo de tres profundidades en las parcelas Alta y Baja del CIPCA.

El Gráfico 4 muestra los resultados obtenidos de la prueba de Tukey al 5% con dos rangos de significancia para captura de carbono orgánico total presente en la parcela alta, indicando que la mayor captura se encuentra en profundidad (5-10 cm) con 12435,11 mg.kg^{-1}, la profundidad (0-5) con 11989,56 mg.kg^{-1} y la profundidad (10-30cm) muestra menor cantidad de COT con un valor de 10846,92 mg.kg^{-1}.

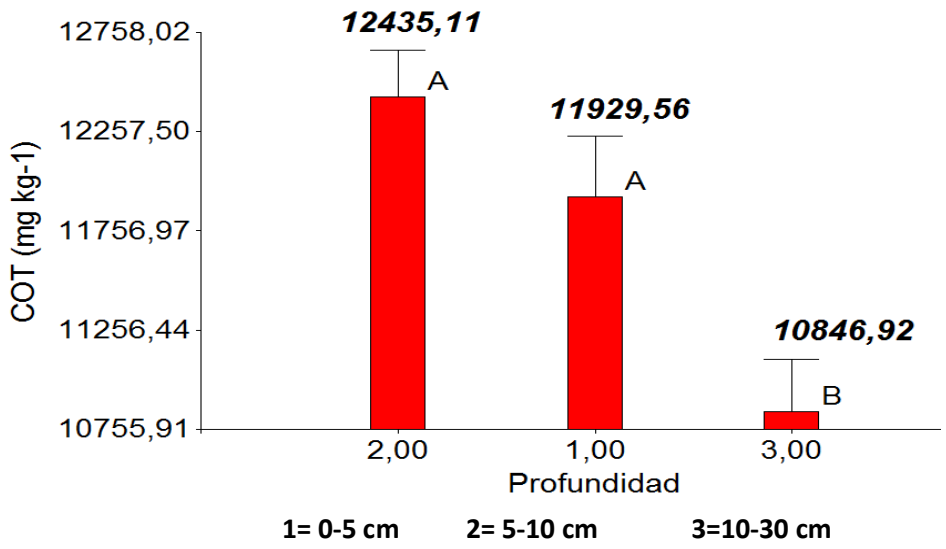


Gráfico 4. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela alta
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 5 menciona los resultados expuestos en la prueba de Tukey al 5% de la variable COT haciendo con el factor profundidad de la parcela baja, observando la captura de carbono existente en los diferentes compartimientos del suelo en la parcela baja; diferenciando que existe una captura de carbono mayor en el segundo estrato de suelo (5-10cm) con 8904,33 mg.kg^{-1}, seguida del primer estrato de suelo (0-5cm) con 8599,09 (mg. kg^{-1}) y conservando una menor cantidad en cuanto a COT está el tercer estrato (10-30cm) con 8292,93 mg.kg^{-1}.

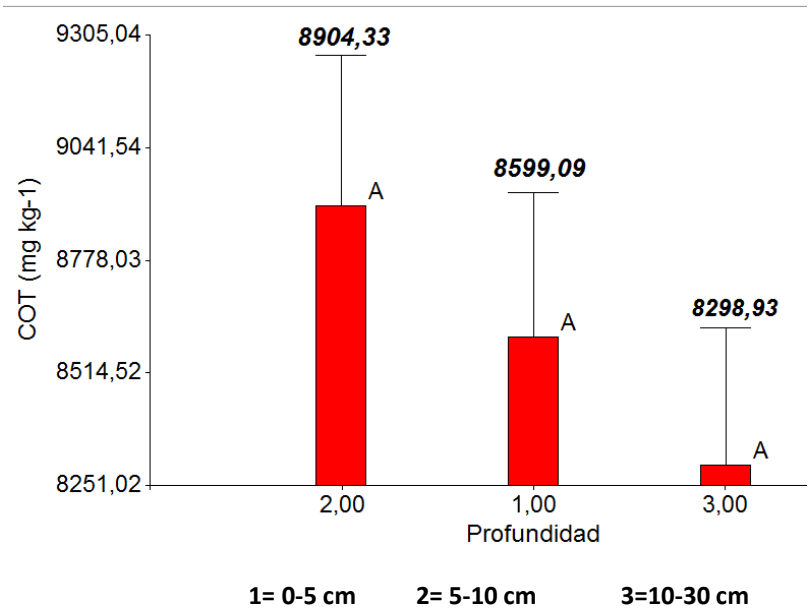


Gráfico 5. Medias de COT (mg. kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela baja
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 4 y Gráfico *5* determinan la cantidad de COT en $mg.kg^{-1}$ presente en las tres profundidades del suelo ubicadas en la parcela alta y baja, sin embargo se puede observar que en las dos parcelas existe mayor concentración en la profundidad (5-10cm), 12435,11 $mg.kg^{-1}$ de suelo en la parcela alta y 8904,33 $mg.kg^{-1}$ de suelo, deduciendo que el Carbono Orgánico Total no se acumula en los primeros 5 cm, sino que tiende descender a la segunda profundidad, sin embargo Cunalata & Inga, (2012) manifiesta que los cambios de COT en las diferentes profundidades del suelo se da por el uso del mismo por actividades antropogénicas donde llegan a tener un desgaste conllevando a las disminución de COT.

En un estudio donde se observó la variabilidad del carbono orgánico total en rotaciones en siembra directa en la provincia de Buenos Aires se analizaron muestras de suelos a profundidades de 0-5, 5-20 cm con 5 tratamientos y diferentes cultivos de gramíneas que fueron evaluados en diferentes ciclos, en 2003 y en el 2009. Los resultados obtenidos en la profundidad 0-5 cm muestran un promedio de 32700 mg de C kg^{-1} en el 2003 y 30360 mg C kg^{-1}en el 2009. En la profundidad de 5-20 se obtuvieron medias de 24640 mg de C kg^{-1} en el 2003 y medias de 25560 mg de C kg^{-1} para el 2009 (Ron, *et al.,* 2013).

Mientras que Figueira, *et al*., (2012*)* en un estudio donde determina COT y CMS en Zonas agrícolas del suelo, forestal y pastos en el Valle de Paraíba Sur en Brasil en los primeros 5 cm de suelo y deduce que el carbono orgánico total (COT) difiere entre las áreas en estudio, con valores más altos que se encuentra en las zonas de bosques y pastizales, y menor en las zonas agrícolas donde se obtuvieron cantidades de COT de 9900 mg de C kg^{-1} de suelo en zonas agrícolas.

Se encontró mayor cantidad en zonas de bosques donde existe pequeñas áreas de pastizales y una sucesión vegetal, donde se cuantificó 18600 mg de C kg^{-1} de suelo, con esto se puede deducir que el uso de suelo altera las concentración de COT Figueira, *et al*., (2012*)*, por esta razón la concentración de COT en la presente investigación demuestran que en la primera profundidad consta de una menor concentración que en la segunda profundidad, sin embargo Figuera, *et al*., (2012), deduce que las concentraciones de COT cambian dependiendo al uso de suelo y al tipo de sistema silvícola que se encuentre en el lugar.

El Gráfico 2 y Gráfico 3 indican la cantidad de COT almacenado en el suelo para los SSI en la parcela alta y baja respectivamente donde demuestra que la especie *Myroxylon balsamum* esta almacenando más carbono orgánico total en el suelo de la parcela alta y *Ocotea quixos* en la parcela baja, donde la Robert (2002) expresa que la existencia de carbono orgánico presente en los suelos representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización).

4.4 Análisis del secuestro de CMS (mg.kg^{-1}) en el suelo de tres SSI (Sistemas Silvícolas Industriales) en las parcelas Alta y Baja del CIPCA.

El Gráfico 6 correspondiente a la prueba de Tukey al 5%, donde muestran valores de la cantidad de carbono microbiano del suelo correlacionando con el factor SSI pertenecientes a la parcela alta, mostrando que el SSI 2 *(Myroxylon balsamum*) posee una mayor captura de CMS con 2622,20 mg.kg^{-1}, el SSI 3 con 2567,16 mg.kg^{-1} y el SSI 1(*Ocotea quixos*) es el que menor captura posee con 2295,05 mg.kg^{-1}.

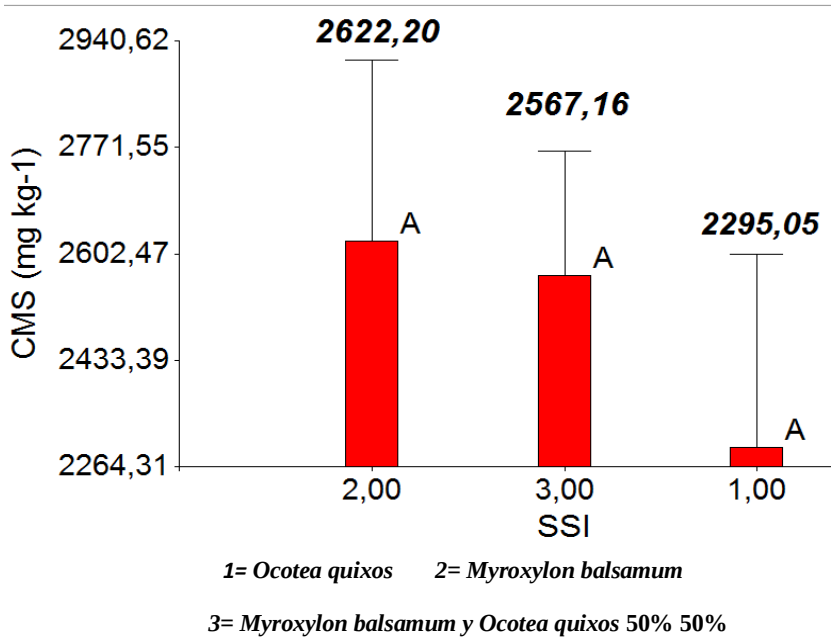


Gráfico 6. Medias de CMS (mg kg^{-1}) en SSI en la parcela alta.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 7 ilustra una representatividad a la prueba de Tukey al 5% indicando el contenido de CMS presente en cada SSI para la parcela baja, donde se puede observar que la captura del SSI 3 (*Ocotea quixos* y *Myroxylon balsamum* 50%50%) el cual es un sistema en asocio, asumiendo mayor concentración de CMS con un valor de 2370,45 mg.kg^{-1}, seguido del SSI 1 *(Ocotea quixos)* con 2316,16 mg.kg^{-1} y SSI 2 *(Myroxylon balsamum)* 2129,52 mg.kg^{-1}.

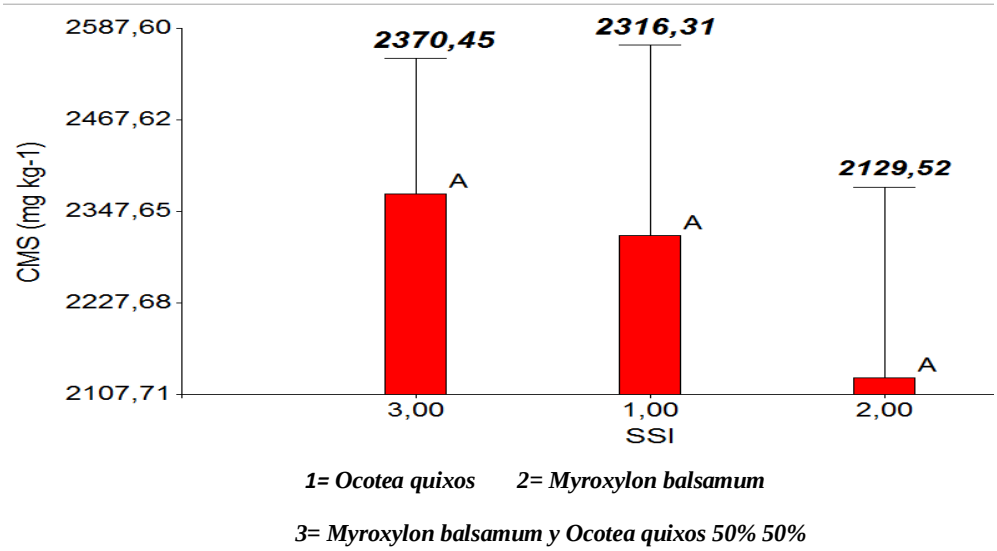


Gráfico 7. Medias de CMS (mg kg^{-1}) en SSI en la parcela baja.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

4.5 Análisis del secuestro de CMS (mg.kg^{-1}) en el suelo de tres profundidades en las parcelas Alta y Baja del CIPCA

El Gráfico 8 demuestra la prueba de Tukey al 5% en las tres profundidades de suelo respecto a su concentración de CMS en la parcela alta, donde se puede observar que en dicha parcela existe una mayor concentración en el primera profundidad de suelo (0-5cm) con un valor de 3637,25 mg.kg^{-1}, seguida de la segunda profundidad (5-10cm) con 2486,88 mg.kg^{-1} y la concentración menor se ubica en la tercera profundidad (10-30cm) con 1360,29 mg.kg^{-1}, observando diferencias significativas en las profundidades.

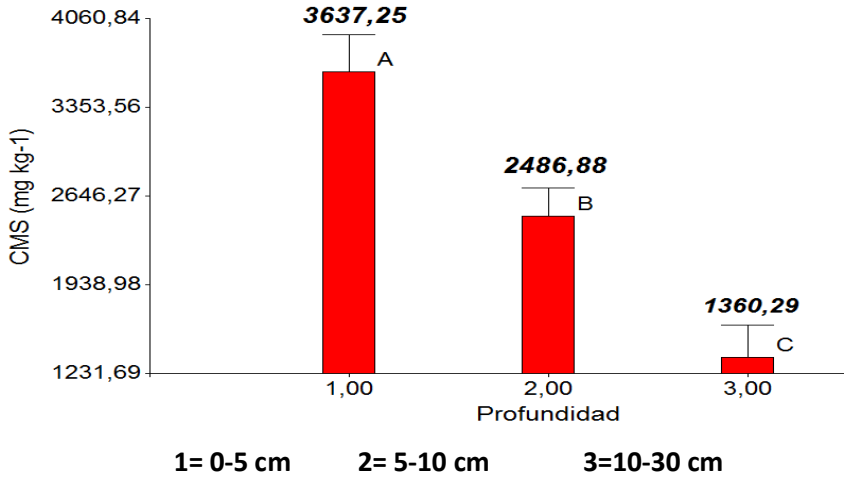


Gráfico 8. Medias de CMS (mg..kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela alta.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 9 correspondiente a la prueba de Tukey al 5% refiriéndose a la cantidad de CMS cuantificada en las tres profundidades de suelo pertenecientes a la parcela baja, donde se puede observar diferencia significativa en los valores, ilustrando que la profundidad de (0-5cm) posee un mayor contenido de CMS con 2861,81 mg.kg^{-1}, la profundidad de (5-10 cm) con 2518,46 mg.kg^{-1} y la profundidad de (10-30cm) muestra concentraciones inferiores con 1436,01 mg.kg^{-1}.

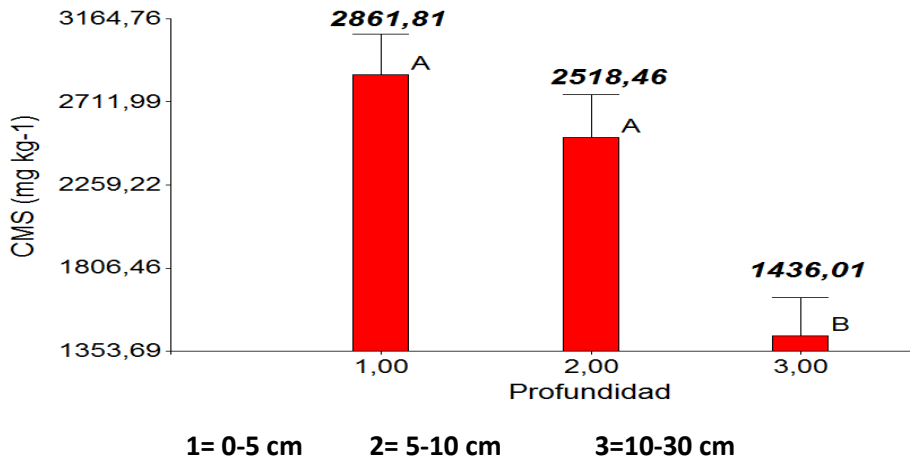


Gráfico 9. Medias de CMS (mg.kg^{-1}) en tres profundidades en la parcela baja.
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

El Gráfico 6 y Gráfico *7* muestran la concentraciones de carbono de la actividad microbiana para los diferentes tipos de SSI en la parcela alta y baja respectivamente, donde se puede deducir que en la parcela alta en el SSI 2 (*Myroxylon balsamum*) sobresale con mayor concentración de CMS con 2622,20 mg.kg^{-1}, sin embargo en la parcela baja el SSI 3 el cual es un sistema en *asocio* (*Ocotea quixos* y *Myroxylon balsamum* 50%50%) posee un contenido superior a los demás SSI de CMS con un valor de 2370,45 mg.kg^{-1}, mientras que Figueira, *et al.*, (2012), menciona que la ausencia de labranza y mayor diversidad florística puede ser algunos de los factores responsables de las condiciones más favorables para biomasa microbiana.

En un estudio realizado en Brasil donde se determinó COT y CMS en zonas agrícolas del suelo, forestal y pastos medio Valle de Paraíba Sur en diferentes tipos de vegetación determinando que existe mayor cantidad de carbono microbiano en zonas de reserva que en zonas alteradas o en actividades agrícolas en donde obtuvo significancia en sus

resultados con 207 $mg.kg^{-1}$ de suelo en zonas agrícolas y 386 $mg.kg^{-1}$ en zonas de reserva sin intervención del hombre en los 5 primeros centímetros del suelo (Figueira, *et al*., 2012).

No obstante el presente estudio muestra cantidades superiores de CMS los primeros cinco centímetros en el estudio realizado por Figueira, *et al*., (2012), deduciendo que el suelo de las dos parcelas en los SSI son ricos en compuestos orgánicos, por ende posee mayor productividad y almacenamiento de carbono de la actividad microbiana.

Las prácticas agrícolas (ganadería, la agricultura y la integración agricultura y ganadería) en comparación con la vegetación nativa, puede afectar el suelo, causando perturbaciones en comunidades microbianas que puede, a su vez, influir en los procesos biogeoquímicos (Alves, *et al*., 2011).

Por ende se puede justificar que existe mayor carbono de la actividad microbiana en lugares donde no existe actividad agrícola y de igual forma establecer que existe una mejor actividad microbiana en estratos más cercanos a la superficie por presencia de oxígeno, demostrado en datos del presente estudio.

En un estudio, en el sistema de montañas del área de protección ecológica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), donde se determinaron diferentes de parámetros de suelo entre ellos el carbono de la biomasa microbiana en una profundidad de 0-5 cm en dos diferentes tipos de bosques uno maduro y otro secundario se determinó que existe mayor concentración en un bosque secundario con 2000 ±465 mg CMS kg^{-1} y 1430±95 mg CMS kg^{-1} en un bosque maduro, sin embargo concluyó que las especies de plantas tienen diferentes efectos sobre el suelo, lo cual refleja que puede existir diferencia de parámetros no solo en CMS sino también a nivel de otros nutrientes (Tremont, O., & Cuevas, E. 2004).

Los valores del presente estudio en cuanto a CMS con relación al estudio de Tremont & Cuevas, E. (2004), teniendo en cuenta que las parcelas alta y baja pertenecen a un bosque secundario y las concentraciones de CMS en las dos parcelas del CIPCA, son superiores a los estudios analizados, concluyendo un mejor almacenamiento de carbono y por ende mejor productividad del suelo.

La Tabla 2 y 3 indica la correlación de Pearson en la parcela alta y baja en relación a las variables de estudio con respecto a la profundidad y sistemas silvícolas industriales, donde se puede observar la correlación significativa con nivel 0,01 y nivel 0,05

Tabla 2. Análisis de correlación de Pearson en la parcela alta.

Correlaciones de Pearson de la Parcela Alta						
	COT mg.kg^{-1}	CMS mg.kg^{-1}	COT kg.ha^{-1}	CMS kg.ha^{-1}	SSI	Profundidad
Profundidad	-,301**	-,566**	,408**	-,419**	,081	1
COT mg.kg^{-1}	1	,208	,560**	,221	,016	**-,301****
CMS mg.kg^{-1}	,208	1	-,238*	,968**	,014	**-,566****
COT kg.ha^{-1}	,560**	-,238*	1	-,053	**-,311****	**,408****
CMS kg.ha-1	,221	,968**	-,053	1	-,061	**-,419****
SSI	,016	,014	-,311**	-,061	1	,081
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).						
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).						

Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

Tabla 3. Análisis de correlación de Pearson en la parcela baja.

Correlaciones de Pearson de la Parcela Baja						
	COT mg.kg^{-1}	CMS mg.kg^{-1}	COT kg.ha^{-1}	CMS kg.ha^{-1}	SSI	Profundidad
Profundidad	-,082	-,494**	,169	-,371**	,121	1
COT mg.kg^{-1}	1	,267*	,718**	,294*	-,018	-,082
CMS mg.kg^{-1}	,267*	1	,106	,913**	-,020	**-,494****
COT kg.ha^{-1}	,718**	,106	1	,387**	-,041	,169
CMS kg.ha^{-1}	,294*	,913**	,387**	1	-,008	**-,371****
SSI	-,018	-,020	-,041	-,008	1	,121
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).						
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).						

Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

La Tabla 2 y 3 muestra la correlación de Pearson para variables de estudio con el factor profundidad y SSI, en la Tabla 2 se observa que existe un valor significativo entre COT (kg ha^{-1}) y SSI donde se determina que el comportamiento de los SSI con el suelo difiere significativamente, sin embargo al referirse a profundidades con la variable de estudio se denota valores altamente significativos donde se determina que a medida que aumenta la profundidad las cantidades de carbono tienden a disminuir

En la Tabla 3 muestra que existe valores significativos en las profundidades de igual manera las concentraciones de carbono tienden a disminuir con la profundidad, siendo que la mayor actividad microbiana se encuentra en los primeros centímetros del suelo (Malucin & Romero, 2016)

En la Tabla 2 y 3 en la variable COT ($kg.ha^{-1}$) se observa que a medida que la profundidad tiende a aumentar, dicha variable de igual sufre un aumento sin embargo si se observa en la parcela baja Tabla 3 este valor aumenta pero menores proporciones, esto quiere decir que el COT ($kg.ha^{-1}$) tiende a acumularse en las partes bajas como se puede observar en la parcela baja, Fisher (2000) afirma que estas características están asociadas con la textura, profundidad, densidad aparente, fragmentos de roca, drenaje y grado de erodabilidad del suelo.

La Tabla 4 Ilustra una correspondencia a la Prueba de t -Student al 5% con valores significativos, para comparación en forma general de las parcelas alta y baja de las concentraciones de COT y CMS en diferentes unidades, donde se determina que la parcela alta tiene un mayor contenido de COT y CMS ($mg.kg^{-1}$), sin embargo en unidades de ($kg.ha^{-1}$) existe mayor cantidad en cuanto a COT y CMS en la parcela baja.

Tabla 4. Comparación de variables de estudio de las parcelas alta y baja.

Variables	Parcela Alta (n)	Parcela Baja (n)	Media (PA)	Media (PB)	p-valor	Sig.
COT ($mg.kg^{-1}$)	78	72	11788,88	8591,60	<0,0001	*
CMS ($mg.kg^{-1}$)	78	72	2418,73	2246,81	0,4407	ns
COT ($kg.ha^{-1}$)	78	72	2525,07	2886,44	0,0015	*
CMS ($kg.ha^{-1}$)	78	72	497,82	743,08	0,0001	*

n.s = no Significativo; * significativas al 5%; **n** = número de muestras
Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

De acuerdo a la Tabla 4, se puede observar en la prueba de t-Student para comparaciones independientes donde se comparó la significancia entre parcelas alta y baja ($p < 0.05$) para variables de COT ($mg.kg^{-1}$), CMS ($mg.kg^{-1}$), COT ($kg.ha^{-1}$) y CMS ($kg.ha^{-1}$), donde determinó diferencias significativa en SSI de acuerdo a las concentraciones, pero en cuanto a CMS ($mg.kg^{-1}$) no se encontró diferencia significativa.

En la Tabla 4 la comparación que existe entre la parcela Alta y la parcela Baja de diferentes variables de estudio en lo que se refiere a COT y CMS en $mg.kg^{-1}$ de suelo se determina que existen mayores concentraciones en la parcela alta, esto se puede dar como se lo explico anteriormente por el tipo de vegetación que existe entre parcelas ya este factor juega un papel importante en cuanto a los parámetros del suelo, definiendo así que las especies vegetales que se encuentran en los bloques de las dos parcelas (*Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos)* están interactuando con otro tipo de especies lo cual va a variar las concentraciones de Carbono en el suelo.

La representación de COT y CMS en unidades de $kg.ha^{-1}$ donde se tomó en cuenta la densidad aparente del suelo ilustrando en la Tabla 4 que la mayor concentración tanto de COT y CMS se encuentran en la parcela baja, esto se da por que la densidad aparente es superior en la parcela baja como determina Silva (2015) la parcela baja contiene mayor densidad aparente con 0,66 $g\ m^{-3}$ que la parcela alta con un valor de 0,43 $g\ m^{-3}$ y existe también mayor porosidad del suelo en la parcela baja y de igual manera conductividad hidráulica permitiendo que las raíces de las plantas se desarrollen de mejor manera, esto justifica que existe mayor cantidad de COT y CMS en ($kg.ha^{-1}$) y comprobar lo antes mencionado por Tremont, O., & Cuevas, E. (2004) que las especies de plantas tienen diferentes efectos sobre el suelo.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones:

El COT ($mg.kg^{-1}$) tiene un mayor contenido numérico en el SSI 2 (*Ocotea quixos*) para la parcela alta con 12006,24 mg kg^{-1}, sin embargo para la parcela baja se encuentra el SSI 1 (*Myroxylon balsamum*) sobresaliendo con concentraciones superiores a los demás SSI con 8763,51 $mg.kg^{-1}$

En la variable profundidad se determinó que la mayor concentración de COT $mg.kg^{-1}$ se ubicaba en la segunda profundidad (5-10cm) para las dos parcelas con 12435,11 $mg.kg^{-1}$ y 8904,33 $mg.kg^{-1}$ respectivamente, solo hubieron diferencias significativas en la parcela Alta.

El CMS $mg.kg^{-1}$ tiene un mayor contenido numérico en el SSI 2 (*Ocotea quixos*) para la parcela alta con 2622,20 $mg.kg^{-1}$, sin embargo para la parcela baja se encuentra el SSI 3 (*Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos 50% 50%*) el cual es un sistema en asocio sobresaliendo con concentraciones superiores a los demás SSI con 2370,45.

En la variable profundidad se determinó que la mayor concentración de CMS se ubicaba en la primera profundidad (0-5cm) para las dos parcelas con 3637,25 $mg.kg^{-1}$ en la parcela alta y 2861,81 $mg.kg^{-1}$ determinando que existe mayor actividad microbiano en dicha profundidad con resultados estadísticamente significativos.

En las diferentes profundidades de suelo se indica que existe mayor concentración de COT y CMS expresado en $mg.kg^{-1}$ en la parcela alta que en la parcela baja.

La cantidad de COT y CMS expresada en kg ha^{-1} mostró valores superiores en la parcela baja donde la dependencia se encontraba en la densidad aparente del suelo la cual fue mayor en la parcela baja que en la parcela alta demostrando la existe de una mejor actividad microbiana

5.2 Recomendaciones:

- Realizar futuros análisis de COT y CMS en las dos parcelas de esta forma poder observar la evolución que sufre el carbono en el tiempo.

- Realizar estudios en diferentes sistemas silvícolas industriales especialmente en la Amazonía, de esa forma tener una idea de la cantidad de carbono que almacena la amazonia ecuatoriana y su potencial para el cambio de matriz productiva de la misma.

- Realizar análisis de otros minerales del suelo, esenciales para verificar la salud de un bosque el cual ayuda en la lucha por mitigar el cambio climático.

CAPÍTULO VI

6.1 Bibliografía

Aguirre N, Ojeda T, Eguiguren P. (2009). El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador. Proyecto MICCAMBIO. 20-30

Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45(2). 107-115.

Alves, T.S.; Campos, L.L.; Elias Neto, N.; Matsuoka, M. & Loureiro, M.F. (2011) Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos Acta Sci. Agron. 33:341-347.

Birch-Thomsen T, Elberling B, Fog B, Magid J. (2007).Temporal and spatial trends in soil oganic carbon stocks following maize cultivation in semi-arid Tanzania, East Africa. Nutr Cycl. Agroecosyst. 79:291–302.

Brady N, Weil R (2008). The Nature and Properties of Soils. 14th Edition.Prentice Hall. 965 p.

Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., & Kauppi, P. E. (1996). Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. The Commonwealth Forestry Review, 75(1). 80-91.

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Revista digital universitaria. 8(10).

Cadena, S. F., Castillo, J. A., Samann, K. M. M., & Molina, R. M. (1998). Estimación de la biomasa microbiana en suelos de ladera bajo diferentes sistemas de manejo. Acta Agronómica, 48(3-4). 37-42.

Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánche, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 17(1). 133-143.

Chapela, G. (2004). Lucha contra la desertificación y lucha contra el calentamiento global. Cambio climático: una visión desde México. Publicación del Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México DF, 189-200.

Clavijo, J. (2016). Patrones de uso de la flora y su relación con actividades de conservación de bosques nativos en doce Parroquias Amazónicas de Ecuador (Trabajo de titulación para la obtención del título de Biólogo Ambiental). Universidad Internacional del Ecuador, Quito.

Cunalata, C, & Inga, C. (2012). cuantificación de carbono total Almacenado en suelos depáramos en las comunidades shobol-chimborazo, san juan chimborazo (tesis de grado). Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba.

FAO (16 de mayo del 2005). Actividades forestales. Disponible en línea: http://www.fao.org/docrep/009/a0413s/a0413s12.htm [Ultimo acceso: 27 Mar. 2016].

FAO. (2016). Portal de suelos de la FAO. Qué es el secuestro de carbono. Recuperado el 25 de abril del 2016, de http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/secuestro-de-carbono-en-el-suelo/es/

Ferreiro, J. P. (2006). Propiedades bioquimicas de suelos de prado de Galecia. Santiago de Compostela.

Figueira da Silva et al., (2012). Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (rj). Ciência do Solo. 36:1680-1689

Fisher, M. J. (2000). Sistemas de uso de la tierra en los trópicoshúmedos y la emisión y secuestro de CO2. Roma, Italia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, FAO. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr88.pdf

Ginebra Aguilar, M., Rodríguez Alfaro, M., Calero Martin, B., Ponce de León, D., & Font Vila, L. (2015). Carbono lábil como un indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. Cultivos Tropicales. 36, 64-70.

Hontoria, C., Rodríguez-Murillo, J., & Saa, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. Edafología, 11(2). 149-155.

Macías, F. (2004). Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de Carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. Recursos Rurais. 1. 49-56.

Mahecha, L. (2009). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombian journal of animal science and veterinary medicine), 15(2). 226-231.

Malucin, Y., & Romero, J. (2016). Comparación de la respiración basal de suelos aluviales yorgánicos en sistemas silvícolas industriales del centro de investigación, posgrado y conservación amazónica (tesis de grado). Universidad estatal amazonica, Puyo, Pastaza.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1). 68-96.

OTCA. (2014). El cambio climático en la region amazónica. Brasil.

Pontevedra Pombal, M. C. (2004). Las Turberas De Montaña De Galicia Como Sumideros De Carbono. Edafologia, 11. 295-307.

Ríos, P. (2013). Los sistemas silvícolas-industriales como un aporte multifuncional a la economía verde en la producción amazónica. Puyo: UEA.

Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. (FAO, Ed.)

Rodríguez, I., Torres, V., Crespo, G., & Fraga, S. (2002). Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. Rev. cubana Cienc. agríc,36. 403.

Ron, M., Mandoles, E., Storniolo, R., Manso, M., & Forján, H. (2013). Variabilidad del carbono orgánico total en rotaciones en siembra directa del centro sur Bonaerense. Argentina: Universidad estatal del sur.

Rosas, C. (2002). Sumideros de Carbono: ¿Solución a la mitigación de los efectos del cambio climatico?.Revista ecosistemas, 11(3). 2-4

Torres, S. S. C., Arango, C. C. S., & Khoury, C. K. (2015). Impacto del cambio climático para el 2020 en la distribución potencial de Achira (Canna indica L.) en Colombia usando tres modelos de circulación global de la familia de escenarios de emisión A2. Revista Ingeniería y Región, 13(1). 91-102.

Tremont, O., & Cuevas, E. (2004). Carbono orgánico, nutrientes y cambios estacionales de la biomasa microbiana en las principales especies de dos tipos de bosques tropicales. Multiciencias, 4(2).

Unigarro A, Burbano H, Sánchez M (2005). Evaluación de la calidad de suelos en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, Nariño. Acta Agronómica. 54.7-12.

Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soi microbial biomass C. Soil biology and Biochemistry, 19(6). 703-707.

Viteri, A., & Cordero, E. V. (2010). Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo, y silvicultura (forestal) en el Ecuador. P. Cuenca, & V. Cordero, Edits.).

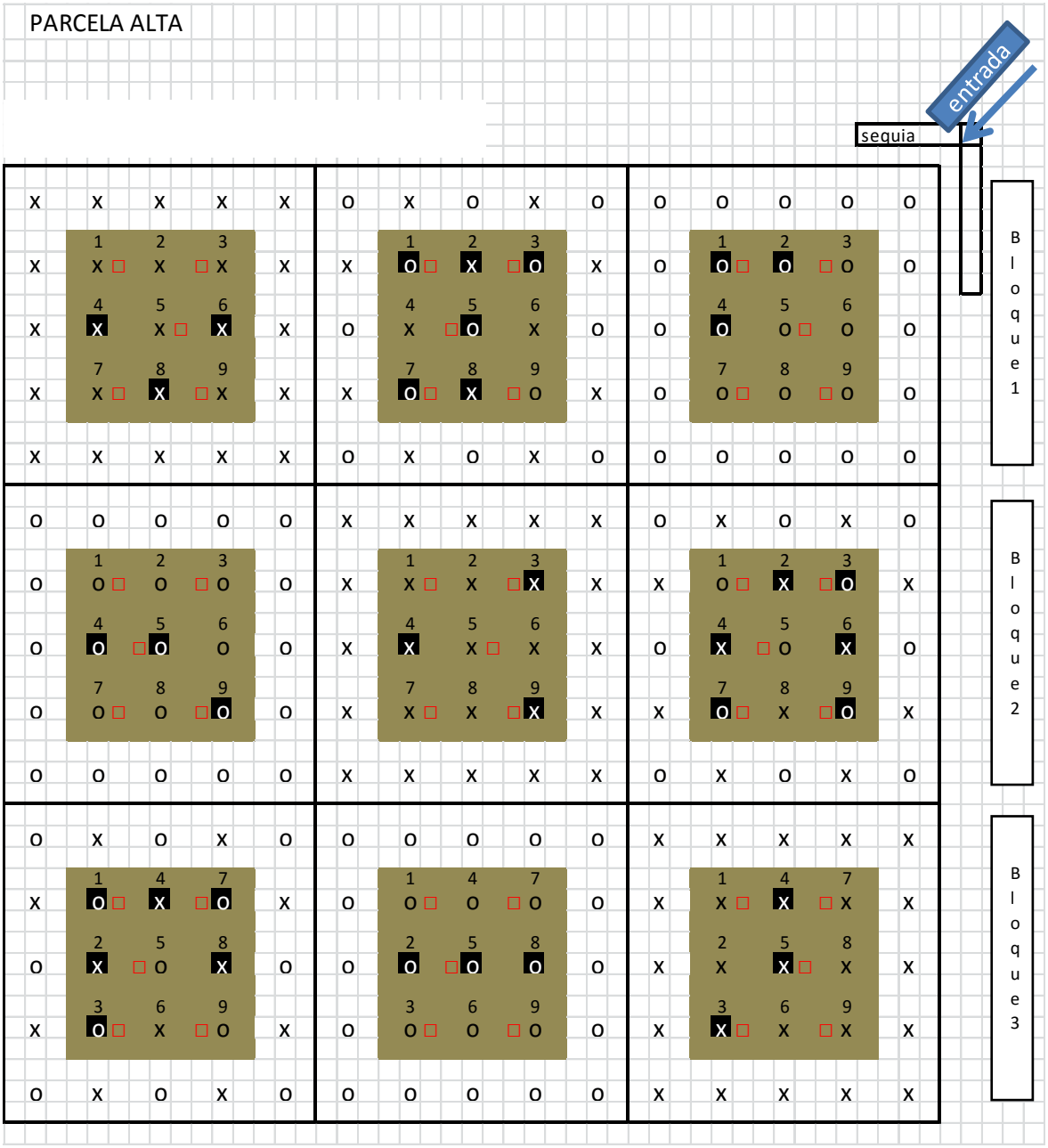
Weart, S. (2006). El calentamiento global. La Historia de un descubrimiento cientifico, Navarra: Laeotoli.

Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. Rev. For. Lat, 35. 11-20.

CAPÍTULO VII

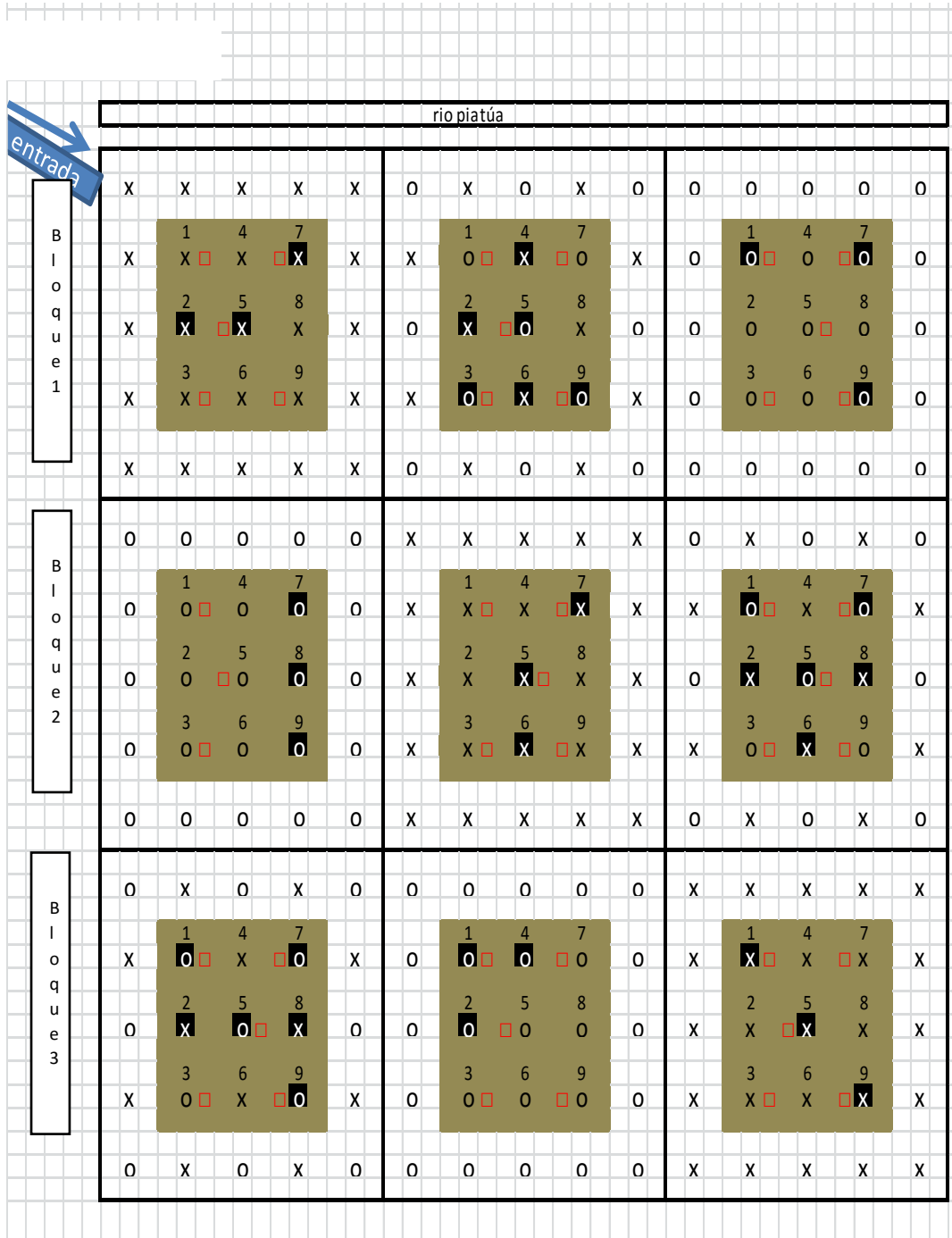
7.1 Anexos

Anexo 1. Estructura de la parcela alta ubicada en el CIPCA. X = *Myroxylon balsamum*; O = *Ocotea quixos*; □ = área de muestreo de crecimiento y biomasa; ■ = área de muestreo.



Fuente: Modificado de Pedro Ríos, 2014.

Anexo 2. Estructura de la parcela baja ubicada en el CIPCA. X = *Myroxylon balsamum*; O = *Ocotea quixos*; □ = área de muestreo de crecimiento y biomasa; ■ = área de muestreo.



Fuente: Modificado de Pedro Ríos, 2014.

Anexo 3. Procedimientos para elaboración de sustancias utilizadas en el presente proyecto de investigación y desarrollo.

SUSTANCIA	**PROCEDIMIENTO**
Sulfato de potasio (K_2SO_4) a 0.5 M	Disolver 87.13 gr en 1000 ml de agua destilada en un balón aforado.
Biftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$)	disolver 0,1063 gr en 50 ml de agua destilada en un balón aforado
Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,1 M	se disuelve 2,94 gr en 100ml de agua destilada

Fuente: Elaborado por el autor, 2016

Anexo 4. Elaboración de reactivos.



Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

Anexo 5. Incubación de suelo por 48 horas y separación de muestras para determinación de COT y CMS



Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

Anexo 6. Muestra fumigadas en cloroformo en un decantador de vacío



Fuente: Elaborador por el autor, 2016.

Anexo 7. Agitación y separación del sustrato en muestras no fumigadas y fumigadas



Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

Anexo 8. Separación de 5 ml de muestra para determinación de COT y CMS



Fuente: Elaborado por el autor, 2016.

Anexo 9. Lectura de absorbancias pertenecientes a las muestras no fumigadas y fumigadas



Fuente: Elaborado por el autor, 2016.