UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO A OBTENER:
INGENIERO AMBIENTAL

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS USOS DEL SUELO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y SU CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA ALTA DEL RÍO ANZU

AUTOR:
CRISTINA ALEJANDRA TOA QUEZADA

DIRECTOR:
Dr. CARLOS BRAVO, PhD.

PUYO-ECUADOR
2017-2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Cristina Alejandra Toa Quezada, portadora de la cédula de identidad No. 1600567315, he hecho constar que soy la autora del Proyecto de Investigación con el Título: "Análisis de la influencia de distintos usos del suelo en el almacenamiento de carbono y su contribución al cambio climático en la zona alta del río Anzu", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina. En tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedo los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico. En la ciudad de Puyo, a los 05 días del mes de Febrero del dos mil Dieciocho.

Cristina Alejandra Toa Quezada
AUTORA

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina
TUTOR

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, Yo, Carlos Alfredo Bravo Medina, con número de cédula 1757015373, cerftico que la egresada Cristina Alejandra Toa Quezada realizó el proyecto de investigación y desarrollo titulado: "Análisis de la influencia de distintos usos del suelo en el almacenamiento de carbono y su contribución al cambio climático en la zona alta del río Anzu", previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental bajo mi supervisión.

_____

Dr. Carlos A. Bravo Medina PhD
DIRECTOR DE PROYECTO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
UNIDAD DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

Puyo, 05 de febrero de 2018
Oficio No. 026-UTICS-UEA-2018

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

Por medio del presente CERTIFICO que;

El informe del Proyecto de investigación correspondiente a la Srta. TOA QUEZADA CRISTINA ALEJANDRA, con C.I. 1600567316, de la Carrera de Ingeniería Ambiental, con el Tema: "ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS USOS DE SUELO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y SU CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA ALTA DEL RÍO ANZU", Director de Proyecto Dr. C. Carlos Alfredo Bravo Medina, PHD., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 05%. Informe generado por el Tutor de fecha 02 de febrero de 2018.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

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

NOTA: Adjunto informe generado el 02 de febrero de 2018.

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado "ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS USOS DEL SUELO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y SU CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA ALTA DEL RÍO ANZU" , fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal:

Dr. Luis Bravo

PRESIDENTE D

EL TRIBUNAL

MSc. Pedro ríos

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Msc. Marco Heredia

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Dedico este proyecto de Investigación a Dios, mi abuelito, mis padres, mi hermano, mi Esposo y a la Familia Coello Paredes.

. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi abuelito Abrahán Quezada que a pesar de que no se encuentra a mi lado siempre ha sido mi mayor Motivación.

A mi madre Elena Quezada y a mi padre Jesús Toa quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a mi hermano Jean Toa por ser mi mejor amigo y compañero, a mi esposo Richar Coello quien ha sabido ser mi soporte en momentos de dificulta, a la familia Coello Paredes por ser más que amigos, una Familia quienes me han apoyada y acompañado en cada paso que doy.

Depositando su confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora.

Los amo con mi vida.

Cristina Alejandra Toa Quezada

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi Abuelito Abraham Q. por ser el inspirador para cada uno de mis pasos dados en mi convivir diario; a mis padres por ser los guía en el sendero de cada acto que realizo hoy, mañana y siempre; a mi hermano, por ser el incentivo para seguir adelante con este objetivo, a mi esposo por la comprensión a lo largo de este trayecto, a mi tutor Carlos A. Bravo por entregarme sus conocimientos para realizar los propósitos que tengo en mente.

Cristina Alejandra Toa Quezada

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO 6
DEDICATORIA 7
SUMMARY 11
CAPÍTULO I. 12
INTRODUCCIÓN 12
Problema de investigación.- 13
Hipótesis.- 13
OBJETIVOS: 14
Objetivo general: 14
Objetivos específicos: 14
CAPÍTULO II 15
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 15
CAPÍTULO III 19
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 19
Localización: 19
TIPO DE INVESTIGACIÓN: 20
Investigación experimental: 20
Investigación exploratoria: 20
METODOLOGÍA 20
Muestreo de campo: 21
Muestreo de suelo y análisis de laboratorio 22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 24
1.- Caracterización físico-química de los suelos en cada una de las Zonas. 24
2.- Obtención del secuestro de carbono bajo distintos compartimientos y usos de la tierra en las tres zonas 28
3.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 34
CONCLUSIONES 38
RECOMENDACIONES 39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40
ANEXOS 43

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación de la comunidad Boayacu , Unión Bellandia y Simón Bolívar 19
Figura 2.- Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso de tierra seleccionado. 22
Figura 3.-Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Boayacu 28
Figura 4.-Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Unión Bellandia 29
Figura 5.- Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Simón Bolívar 30
Figura 6.-Secuestro de Carbono en la Hojarasca, Comunidad Boayacu 31
Figura 7.- Secuestro de Carbono por la Hojarasca en la Comunidad Unión Bellandia 31
Figura 8.-Secuestro de Carbono por la Hojarasca en la Comunidad Simón Bolívar 32
Figura 9.- Secuestro de Carbono en la Biomasa Aérea de la Comunidad Boayacu 33
Figura 10.- Secuestro de Carbono de la Biomasa Aérea en la Comunidad Simón Bolívar 34
Figura 11.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la Comunidad Boayacu 36
Figura 12.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la Comunidad Unión Bellandia 37
Figura 13.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la comunidad Simón Bolívar 37

TABLAS

Tabla 1.- Nombres científicos y familia de las especies presentes en las comunidades. 21
Tabla 2.- Caracterización físico-química de la profundidad de 0-10 en las Comunidades Boayacu, Unión Bellandia, Simón Bolívar 25
Tabla 3.- Caracterización físico-química de la profundidad de 10-30 en las Comunidades Boayacu, Unión Bellandia, Simón Bolívar 26
Tabla 4.- Rangos Establecidos 27
Tabla 5.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Boayacu 35
Tabla 6.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Unión Bellandia 35
Tabla 7.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Simón Bolívar 35

RESUMEN

La conversión de ecosistemas naturales en agroecosistemas ganaderos a menudo reduce el contenido de carbono orgánico del suelo al disminuir su fuente de suministro, así como al aumentar las pérdidas por erosión y la tasa de descomposición de la materia orgánica. En este sentido, este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de distintos uso del suelo en el almacenamiento de carbono y su contribución al cambio climático en la zona alta del Río Anzu de la Provincia Pastaza. El estudio se llevó a cabo en tres comunidades localizadas en la Cuenca alta del río Anzu y se seleccionaron los usos de la tierra más representativos, abarcando la parte agrícola y ganadera. En cada uso de la tierra se recolectaron muestras de suelo perturbado y no perturbado en profundidades de 0-10 y 10-30 cm. A partir de estas muestras, se determinó el carbono orgánico total y algunos índices estructurales, como la densidad aparente del suelo. Los resultados sugieren que el almacenamiento de carbono está fuertemente influenciado por el arreglo de los agroecosistemas y la ausencia o presencia de árboles. La presencia de los árboles es de vital importancia ya que retienen la mayor parte del carbono, demostrado en la Comunidad Boayacu en la parcela de Pastos con Árboles_C con 47,66 % C almacenado, reduciendo la emisión de un 174,91 $MgCO_2$/ha.

Palabras Claves: Secuestro de carbono, cambio climático, comunidades, uso de la tierra, amazonia.

SUMMARY

The conversion of natural ecosystems into livestock agroecosystems often reduces the organic content of the soil by decreasing its source of supply, as well as increasing the rate of erosion and the decomposition rate of organic matter. In this sense, the objective of this study was the influence of several land uses on carbon storage and its contribution to climate change in the upper Anzu River of the Pastaza Province. The study was carried out in three communities located in the upper basin of the river. He designed and selected the most representative land uses covering the agricultural and livestock. In each land use, samples of disturbed and undisturbed soil were collected at depths of 0-10 and 10-30 cm. From these samples, the total and short-term organic carbon was determined as the apparent density of the soil. The results indicate that carbon storage is strongly influenced by the arrangement of agroecosystems and the absence or presence of trees. The presence of the trees is of vital importance for the retention of the main part of the carbon, the control in the Boyacu Community in the portion of Pastures with trees with 47.66% of stored carbon, reducing the emission of a 174,91 MgCO2 / he has.

Key Words: Carbon sequestration, climate change, communities, land use, Amazon.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe cuentan con la mayor reserva de tierra cultivable del mundo. Aproximadamente un 47% del suelo se encuentra cubierto por bosques, pero la cifra se reduce rápidamente debido a las grandes expansiones del territorio agrícola y ganadero. Durante las últimas cinco décadas (1961 - 2011), la superficie agrícola en la región se aumentado de 561 a 741 millones de hectáreas, siendo así la de mayor expansión en América del Sur: de 441 a 607 millones de hectáreas (FAO,2017).

Para el año 2013, el uso de la tierra en el Ecuador se correspondía con la siguiente distribución: 30% destinada a bosque y monte, 27,44% de la superficie para pastos cultivados, 13,80% con pastos naturales y los cultivos permanentes representaban 12,49%; el 1,84% se destina para otros usos (Cevallos, 2015). En cuanto a la superficie "exclusiva" para uso agropecuario, la región de la costa tiene 44,93%, la sierra un 37,73% y el oriente el 17,34% (INEC-ESPAC, 2013).

La Amazonia Ecuatoriana, se constituye por una extensión territorial de 116.441 Km^2, representando la superficie natural más grande del Ecuador con aproximadamente el 45 % del territorio nacional.

Actualmente el área total de la provincia de Pastaza es de 2.954.334 ha, de las cuales el 88,44% (2.612.823 ha) se corresponden al bosque primario de la Amazonía, el 6,95 % (205.470 ha) se utilizan actualmente en actividades agropecuarias y el 3,27 % (96.562 ha) corresponde a humedales. Otros usos del suelo se corresponde a la vegetación arbustiva y herbácea con el 1,16 % es decir 8.775 ha, en el rubro otras áreas se ubica el 0,09 %, es decir, 2.695 ha, mientras que las zonas urbanas ocupan 2.455 ha, lo que significa el 0,08 % (Plan de Desarrollo de la Provincia de Pastaza, 2012).

Sobre esta base, el uso del recurso suelo en la Amazonía ecuatoriana es esencial para la regulación del ciclo biogeoquímico del carbono (C) a escala planetaria, por su importancia como sumidero y fuente de CO_2 atmosférico, y por tanto, es el balance entre mitigación y emisión. La mitigación se produce por la fijación de C en la vegetación por la actividad fotosintética, y por su secuestro en los suelos por los

procesos de humificación, mientras la emisión se da por la práctica de sistema de uso y gestión inadecuada, como la deforestación y quema incontrolada de bosques (Dávila, 2006).

También se ha señalado que el carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001), por tanto, el suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo (Lal, 1997; Lal *et al.,* 1990).

Por otra parte, se ha indicado que el carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo debido a que proporciona recursos energéticos a los organismos del suelo (OS), mayoritariamente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular) (Aguilera, 1999; Borie *et al*., 1999).

En este contexto, se ha señalado que la conversión de ecosistemas naturales en agroecosistemas ganaderos a menudo reduce el contenido de carbono orgánico del suelo al disminuir su fuente de suministro, así como al aumentar las pérdidas por erosión y la tasa de descomposición de la materia orgánica (Bravo, 2016).

Problema de investigación.-

El cambio de uso de la tierra y el avance de la frontera agrícola contribuyen en gran escala a la degradación de los recursos: suelo, vegetación y biodiversidad reducen la captura de carbono y aumenta la emisión de gases como el CO_2 que contribuye al cambio climático.

Hipótesis.-

¿El avance de la frontera agrícola y ganadera con procesos poco amigables con el ambiente afectará a la calidad de parámetros ambientales relacionados al suelo en la captura de carbono como la intervención en el cambio climático?.

OBJETIVOS:

Objetivo general:

Analizar la influencia de distintos uso del suelo en el almacenamiento de carbono y su contribución al cambio climático en la zona alta del Río Anzu de la Provincia Pastaza.

Objetivos específicos:

.

- Cuantificar el contenido de carbono en los distintos compartimientos tales como suelo, biomasa no aérea y biomasa aérea en diferentes usos de la tierra.

- Determinar el carbono total almacenado bajo distintos usos de la tierra de tres zonas de la Cuenca alta del Río Anzu y su influencia en el cambio climático.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

La región amazónica ecuatoriana representa el 45% del territorio de Ecuador y constituye una de las reservas de biosfera más importantes, ya que proporciona una red compleja de servicios ecosistémicos (Bravo *et al*., 2017). Sin embargo, esta región ha venido experimentando altas tasas de deforestación y avance de la frontera agrícola con cambio de usos del suelo, con la consecuente afectación sobre la biodiversidad, el agua, suelo y la disminución o pérdida de los ecosistemas de ofrecer sus servicios ecosistémicos (Bravo *et al.*, 2015; Vargas *et al.*, 2014). Estos cambios pueden desencadenar en otros daños ambientales específicamente el aumento de la erosión del suelo y la degradación de su calidad y el agua con impactos negativos sobre la biodiversidad acuática, y las otras funciones estructurales de la materia orgánica (Bravo *et al.*, 2017). Al respecto, se ha señalado que la conversión de bosques tropicales en tierras agrícolas conduce a una fuerte disminución de la materia orgánica del suelo, afectando sus funciones como almacenador de C y suministro de fertilidad (Guillaume *et al.*, 2016).

Influencia de la Agricultura y Ganadería en el suelo. Avance de la frontera agrícola:

La frontera agrícola y la colonización han seguido avanzando sobre el territorio amazónico, impulsados por fuerzas y conflictos en el interior del país, con sus efectos adversos sobre el ecosistema y la degradación del patrimonio natural y cultural, la ampliación de las áreas intervenidas, procesos de deforestación, intensificación de actividades extractivas como la pesca y la minería y los cultivos de uso ilícito. Estos fenómenos se presentan con diversas intensidades y características sociales en las distintas subregiones (Cepal & Patrimonio Natural, 2013). Los principales uso en esta zona se dividen en actividades agropecuarias y actividades ganaderas.

Actividad Agropecuaria:

De acuerdo al último Censo Agropecuario, entre los principales cultivos permanentes, se tiene el plátano con 1.784 ha cultivadas, seguido de la caña de azúcar con 1.774 ha, y la naranjilla con 1.021 ha. En menor escala, están los cultivos transitorios de yuca con 204 ha, papa china con 68 ha, y maíz duro con 33 ha, que en conjunto representan apenas el 7% de la superficie plantada. Estos productos en su mayor parte están dirigidos al autoconsumo o a satisfacer la demanda interna (MINDA, 2012).

Actividad Ganadera:

Desde el punto de vista productivo, el 80% de la superficie se dedica a pastizales, siendo el rubro de mayor importancia para la economía del sector, cuya expansión y utilización de prácticas no sostenibles, son a menudo consideradas entre los factores más importantes en la deforestación y cambio climáticos globales. Por otra parte, se debe reconocer que esta actividad pionera ha acompañado al proceso de ocupación y transformación de espacios amazónicos, generando empleos y dinamización de la región (MAGAP, 2015).

Sin embargo, los niveles de producción y productividad son bajos, cuyo promedio de leche apenas alcanza a 3,5 litros/vaca/día y la producción de carne acusa incrementos de apenas 0,25 kg/día, debido entre otras causas a la baja fertilidad de los suelos, pasturas susceptibles a plagas, poco resistentes a la sombra y poco productivas, escasa utilización de leguminosas (arbustivas o rastreras) que alimenten el suelo y eviten su erosión (MAGAP, 2009).

Dinámica del carbono orgánico en el suelo

En condiciones naturales el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal y en suelos cultivados el mayor aporte de C ocurre con los residuos de cosecha (Martínez *et al.*, 2008). El C del suelo se puede perder en forma gaseosa (CO_2, CH_4) por difusión directa hacia la atmósfera. Sobre la base, se plantea que una forma de mitigar los efectos con que el CO_2

atmosférico participa en el cambio climático es a través de la captura del carbono, mediante la fotosíntesis y mantenerlo el mayor tiempo posible secuestrado, ya sea en el suelo o en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos animales (Espinoza-Domínguez, 2012). Mediante la fotosíntesis, la vegetación asimila CO_2 atmosférico, forma carbohidratos y aumenta su volumen.

La materia orgánica del suelo (MOS) es una mezcla heterogénea de diferentes fases de transformación de los materiales orgánicos incorporados al mismo, que varía con el tipo de suelo y con la profundidad (Lozano *et al.*, 2012).Constituye un todo heterogéneo donde la producción de las formas más estables, es el resultado de un conjunto de reacciones físicas, químicas y biológicas; a estas formas químicamente muy estables, es lo que generalmente se conoce con el nombre de humus (Rivero, 1999). Aunque la materia orgánica es sólo un pequeño porcentaje del volumen total de la mayoría de los suelos (generalmente de 1 a 6 %), la cantidad y el tipo de materia orgánica del suelo (MOS) influyen en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo. Los diversos efectos de la MOS pueden agruparse bajo las influencias ejercidas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que implican cambios en las variables como la estructura, la disponibilidad de nutrientes y la diversidad biológica (Bravo *et al*., 2016).

Potencial de secuestro de carbono de los sistemas agroforestales.

La diversidad del ecosistema constituye el resultado de las formas en que están organizados e interactúan los diferentes componentes vivos e inertes del sistema. Por tanto, desde la visión de una gestión ambiental se debe procurar usar las conexiones entre la diversidad ecológica, estabilidad y sostenibilidad en términos que apoyen el desarrollo de un marco referencial para el diseño y manejo de los sistemas ganaderos (MAGAP, 2015).

Después de la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso del suelo es la segunda causa mundial de emisiones de CO_2 y algunos de estos cambios corresponden con la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas (IPCC 2007). Bajo esta perspectiva, la ganadería es uno de los principales motores de la deforestación y junto

con la agricultura son señalados como uno de los actores responsables para reducir las áreas de bosques (IPCC 2007). Sin embargo, bajo la intensificación de la ganadería se puede promover estrategias productivas, ecológicas y económicamente sustentables para el manejo de los sistemas agropecuarios. En este contexto, una alternativa para reducir la degradación de los recursos naturales por cambios de uso de suelo es la implementación de sistemas agroforestales, entre ellos los sistemas silvopastoriles (SSP), definidos como formas de uso de la tierra donde los árboles o arbustos asociados de forma simultánea o secuencial interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con el ganado (Nair, 2009). Bajo este manejo se espera que al fomentar la intensificación de la ganadería, esta actividad sea más atractiva, genere mayores ingresos, que el manejo del pastoreo extensivo que conllevaría a una reducción en la deforestación del bosque. El propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible, además de generar bienes y servicios ecosistémicos, como el aumento de las reservas de carbono en la biomasa aérea y en el suelo (Nair, 2009).

Los resultados obtenidos por varios autores, indican que los sistemas agroforestales que integran la producción de árboles con cultivos y el componente animal tienen un mayor potencial para secuestrar C que pastos o cultivos agrícolas (Bravo *et al.,* 2016). Esta afirmación se basa en la noción de que la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos proporciona una mayor parte aérea neta así como mayor captura de carbono en el suelo (Nair *et al.,* 2009). Los rangos señalados para sistemas silvopastoriles puede variar de 12 a 228 Mg ha^{-1} (Dixon, 1995) y para los distintos componentes de carbono como la biomasa aérea (70 Mg ha^{-1}) y el suelo (25 Mg ha^{-1}) (Jadan O., 2012). Para condiciones amazónicas algunos resultados sugieren que el uso de sistemas silvopastoriles almacena un promedio de carbono en el suelo que varía de 35 a 60 Mg C, mientras que el carbono total almacenado puede oscilar de 55 a 515 Mg C ha^{-1} con mayor valor en el bosque (Bravo *et al.*, 2016). Concluyen que estos valores son una manifestación directa del potencial de producción ecológica del sistema, dependiendo de una serie de factores que incluyen características del sitio, tipos de uso de la tierra, especies involucradas, edad y prácticas de manejo (Bravo & Benítez, 2015).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Localización:

Las Zonas de estudio se ubicaron en la parte alta del río Anzu en las Comunidad Boayacu, Unión Bellandia y Simón Bolívar de la Provincia Pastaza (Figura 1)

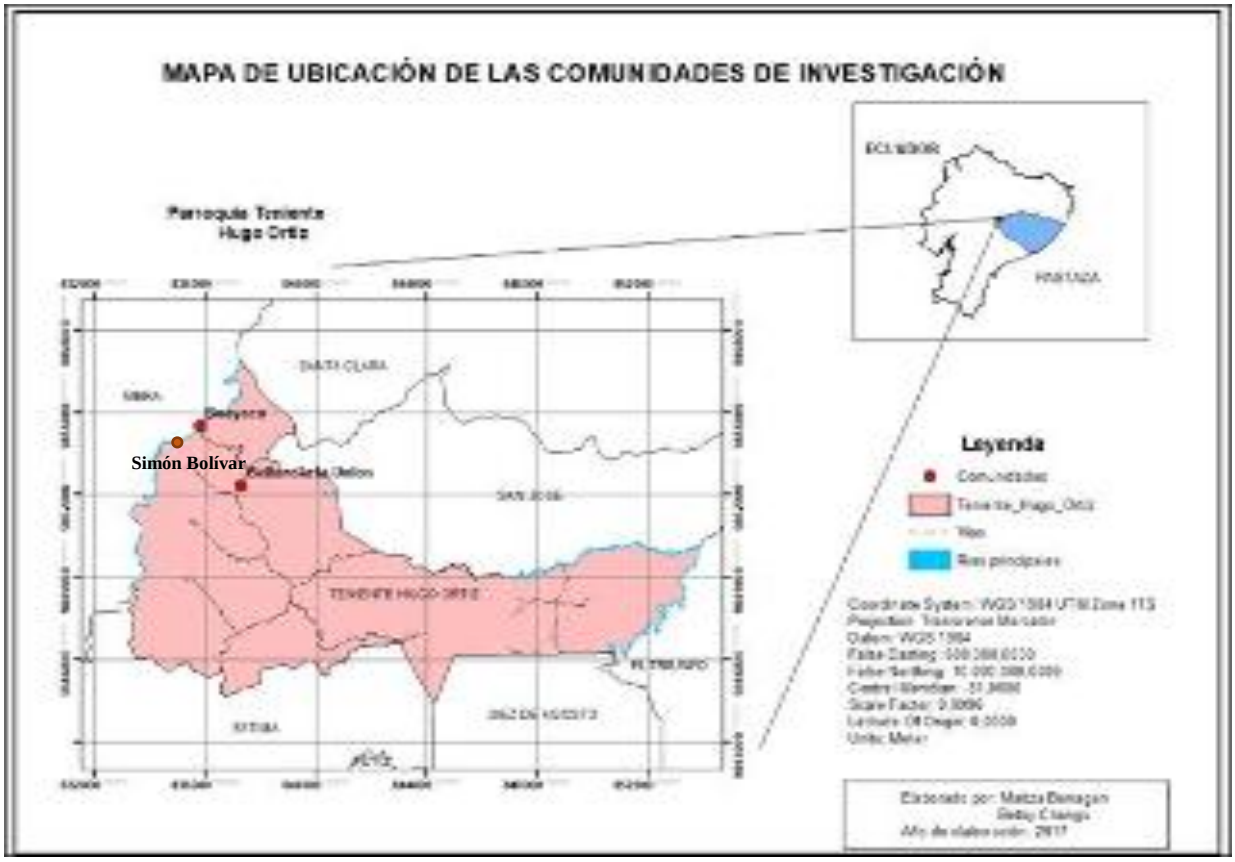


Figura 1.- Ubicación de la comunidad Boayacu , Unión Bellandia y Simón Bolívar

El clima es característico de un bosque húmedo tropical, con una altura 9000 msnm. La precipitación anual promedio es de 3.481,7 mm, una evapotranspiración de 150 mm, temperaturas entre 23,4 a 25,4 °C y una humedad relativa de 87 %. Los suelos pertenecen al orden inceptisol, suelos recientes sin horizontes bien definidos, poco profundos, generalmente ácidos y de baja fertilidad natural (bajo contenido de potasio, calcio, fósforo) y altos contenidos de hierro (Nieto y Caicedo, 2012).

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

El trabajo a realizar se basó en la investigación experimental y exploratoria

Investigación experimental:

Se enfocó en la manipulación de una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas mediante muestreos de suelos y la medición de distintos parámetros ambientales.

Investigación exploratoria:

Se facilitan referencias generales a la temática, y se basa en la medición de parámetros ambientales de acuerdo a los distintos usos de la tierra.

METODOLOGÍA

Las comunidades seleccionadas fueron Boayacu, Unión Bellandia y Simón Bolívar, en cada una de ellas se seleccionaron seis usos de tierra más representativos codificados como:

a) Comunidad Boayacu:

- Chacra_A: Papa china, Yuca, Café, Cacao
- Chacra_B: Papa china, Plátano, Caña de azúcar
- Chacra_C: Papa china, Plátano
- Ganadería_A: Pasto con árboles, Pasto sin arboles
- Ganadería_B: Pasto con árboles, Pasto sin arboles
- Ganadería_C: Pasto con árboles, Pasto sin arboles

b) Comunidad Unión Bellandia

- Papa china_A: Papa china
- Papa china_B: Papa china
- Papa china_C: Papa china
- Caña de azúcar_A: Caña de azúcar
- Caña de azúcar_B: Caña de azúcar
- Caña de azúcar_C: Caña de azúcar

c) Comunidad Simón Bolívar

- Pasto con árboles_A: Pasto
- Pasto con árboles_B: Pasto
- Pasto con árboles_C: Pasto
- Chacra_A: Caña de azúcar ,Guayaba y Plátano
- Chacra_B: Papa china, Caña de azúcar, Plátano
- Chacra_C: Café, Plátano, Caña de azúcar

Tabla 1.- Nombres científicos y familia de las especies presentes en las comunidades.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
Papa china	*Colocasia esculenta*	Araceae
Yuca	*Manihot esculenta*	Euphorbiaceae
Café	*Coffea arabica*	Rubiaceae
Cacao	*Theobroma cacao*	Malvaceae
Plátano	*Musa × paradisiaca*	Musaceae
Caña de azúcar	*Saccharum officinarum*	Poaceae
Guarumo	*Cecropia peltata*	Urticaceae
Pigue	*Piptocoma discolor*	Asteraceae
Palo de Fósforo	*Moringa oleifera*	Moringaceae
Pitón	-	-
Chonta	*Bactris gasipaes*	Arecaceae
Gramalote	*Panicum maximum*	Poaceae

Muestreo de campo:

El muestreo de campo se realizó siguiendo la secuencia:

A. Selección del uso de la tierra representativo en cada una de las zonas.
B. Establecimiento de un transecto que cubriera toda la variabilidad topográfica, vegetación y suelo en cada uso de tierra seleccionado.
C. Localización sobre el transepto de cincos puntos de muestreo, de manera equidistante y en función del tamaño de la parcela.
D. Establecimiento de una sub parcela de 10 x 10 m en cada punto de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5), en la cual se recolecto tres sub muestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm) (Figura 5). Dichas muestras conformaron la muestra compuesta por punto y se usó para la evaluación de parámetros químicos.
E. En la parte central de la sub parcela se colocó un cuadrante (0.25 m^2), donde se tomó la muestra de biomasa (verde y hojarasca), las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10,10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos.

F. En los usos de la tierra con árboles se estableció una parcela de 400 m^2, en la cual se identificó los árboles con diámetro mayor o iguales a 10 cm a la altura del pecho.

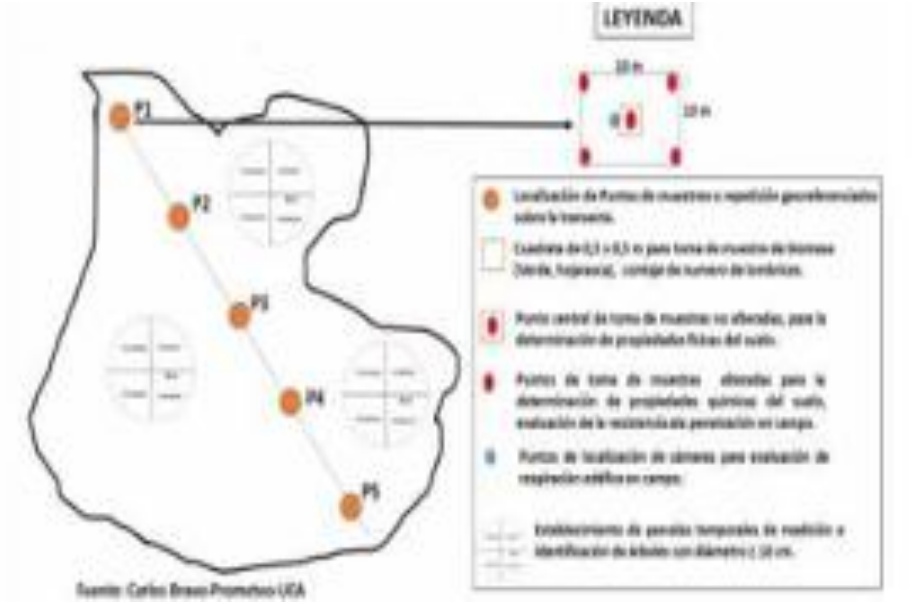


Figura 2.- Esquema de muestreo sistemático para el estudio de suelo, vegetación y biodiversidad en cada uso de tierra seleccionado.

Muestreo de suelo y análisis de laboratorio

Procesamiento de muestras no alteradas para análisis Físicos y la determinación de carbono en el suelo.

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usaron muestras no alteradas con cilindros de 5 cm de altura x 5 cm de diámetro recolectados con un toma muestra tipo Uhland, en los cuales se midió la densidad aparente (Da) usando el método del cilindro (Hartge, 1986), Anexo 1.Los cilindros así preparados se dejaron saturar por capilaridad en una bandeja, sobre un soporte o anillo de aluminio para no se sellara el fondo del cilindro. Una vez realizadas las pruebas de conductividad hidráulica saturada y distribución de tamaño de poros, los cilindros de suelo fueron colocados en la estufa por un lapso de 24 horas a 105ºC, para la obtención del peso de la muestra en seco (Pla, 2010).

Carbono orgánico del suelo.

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson D, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$),1 N con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por el Cr fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N (H_2SO_4 + $FeSO_4.7H_2O$).).

Con el valor de la densidad aparente (Mg m^{-3}), el valor del carbono y la profundidad de cada intervalo de muestreo (0-10 cm, 10-30 cm), se cuantificó la cantidad total de carbono almacenado en el compartimiento suelo (COS).

COS= Da x CO x Profundidad

Carbono de la Biomasa aérea

Para estimar el stock de carbono de la biomasa aérea se utilizó una ecuación alométrica, aplicada a las mediciones del diámetro a la altura del pecho de los árboles (Figura 3) y generada para las condiciones de Bosque húmedo tropical:

$$BSS_{árbol} = (p * exp(-1{,}499 + (2{,}148 * In(D)) + (0{,}207 * In(D)^2) - (0{,}0281 * In(D)^3)) * 0{,}001$$

Donde:

$BSS_{árbol}$= Biomasa aérea sobre el suelo

P: es la densidad de Madera (g/cm^3).

D: es el diámetro a la altura del pecho (cm).

Carbono de la vegetación no arbórea (Hojarasca, Verde)

En los mismos puntos para la toma de muestras de los parámetros físicos y el contaje de lombrices se estableció un marco cuadrado de 0,25 m^2 (0,5 m x 0,5 m). El proceso consistió en recoger todo el material localizado dentro del marco (Cuadrata). Posteriormente el material recolectado fue pesado y colocado en bolsas para su secado en la estufa hasta obtenerse un peso constante. Con los valores de peso seco se calculó

el total de toneladas de materia seca por hectárea (t. MS /ha) y posteriormente se obtuvo la cantidad de carbono por hectárea (t. C /ha), mediante la siguiente ecuación:

ΔC_{BN} muestra = MS * CF

Dónde:

ΔC_{BN} muestra: Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (kg C/0,25 m^2);

CF: es la fracción de carbono (kg C /kg MS) determinada mediante el valor propuesto por el IPCC = 0,5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- Caracterización físico-química de los suelos en cada una de las Zonas.

En las Tabla 2, 3 se presentan información básica de las características físico-química de los suelos de las comunidades seleccionadas. En las tres comunidades Boayacu, Unión Bellandia y Simón Bolívar los parámetros físicos mostraron valores que exhiben unas adecuadas condiciones físicas, reflejadas por las bajos valores de densidad aparente (Da), alta conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), y alta porosidad total y de aireación (Pa) muy por encima de los valores críticos de todas las variables. Se ha señalado, que la condición física del suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Taboada y Álvarez, 2008). En el caso de los parámetros físicos el ordenamiento y la ubicación de las partículas del suelo determinan su respuesta ante cualquier tipo de intervención como los generados por el laboreo, el impacto de las lluvias y la ganadería (Bravo et al., 2015; Vera *et al*., 2012).

Desde el punto de vista químico la fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de suministrar nutrientes esenciales a los cultivos, que determinan su desarrollo y crecimiento (Casanova, 2005). Esta capacidad para la región amazónica ecuatoriana (RAE), está muy marcada por los procesos de formación del suelo y en especial el clima que ha ejercido un papel importante en el proceso de ferralitización o enriquecimiento de hierro (Bravo *et al.*, 2017; (Custode, 1986).

Tabla 2.- Caracterización físico-química de la profundidad de 0-10 en las Comunidades Boayacu, Unión Bellandia, Simón Bolívar

	COMUNIDAD BOAYACU				COMUNIDAD UNION BELLANDIA				COMUNIDAD SIMON BOLIVAR			
	Valores Promedios 0-10cm											
	Media	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**	**Media**	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**	**Media**	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**
Densidad Aparente (Mg m^{-3})	0,431	0,084	0,220	0,630	0,367	0,074	0,250	0,560	0,336	0,050	0,250	0,430
Conductividad Hidráulica Saturada Ksat	50,05	59,29	0,080	231,1	32,46	24,34	0,130	81,68	39,28	5,702	0,650	244,6
Porosidad Total Pt	88,47	4,284	76,92	95,11	89,29	4,511	79,52	97,88	89,55	3,608	79,70	97,23
Porosidad de aireación (Pa,%)	15,93 B.	4,982	9,110	33,32	17,24	4,338	9,700	29,39	14,15	2,400	9,040	18,59
Profondidad H.A	11,65	2,442	8,500	19,33	12,88	3,409	8,600	21,33	14,28	3,114	10,00	22,50
pH	4,576 M.A	0,189	4,160	5,010	4,765 M.A.	0,305	4,020	5,310	4,618 M.A	0,179	4,300	5,030
Acides Intercambiable	2,163	0,722	1,000	3,800	1,367	0,759	0,400	3,500	1,807	0,612	0,500	3,200
Al^{+3}	1,077	0,510	0,300	2,200	0,737	0,589	0,200	3,200	0,707	0,419	0,100	1,700
Fosforo (P, mg $kg^{-1)}$	9,437	6,868	2,800	32,00	9,606 B.	4,409	3,200	25,000	9,563 B.	9,691	0,400	56,00
Potasio (K^{+1})	0,209	0,141	0,070	0,690	0,182	0,076	0,080	0,380	0,218	0,321	0,030	1,850
Calcio (Ca^{+2})	1,901 B.	1,098	0,040	4,050	3,888 M.	2,496	0,540	10,500	2,23 M.	1,171	0,400	4,760
Magnesio (Mg^{+2})	0,531 M.	0,255	0,140	1,000	0,499 B.	0,201	0,140	0,940	0,556 M.	0,324	0,170	1,390
% MO	6,703 B.	1,602	2,000	9,100	6,915 A	1,915	3,980	11,190				

A: Alto; M: Medio; B: Bajo

Tabla 3.- Caracterización físico-química de la profundidad de 10-30 en las Comunidades Boayacu, Unión Bellandia, Simón Bolívar

	COMUNIDAD BOAYACU				COMUNIDAD UNION BELLANDIA				COMUNIDAD SIMON BOLIVAR			
	Valores Promedios 10-30cm											
	Media	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**	**Media**	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**	**Media**	**Desviación típica**	**Mín**	**Máx**
Densidad Aparente (Mg m^{-3})	0,517	0,085	0,330	0,730	0,383	0,058	0,300	0,520	0,452	0,094	0,340	0,800
Conductividad Hidráulica Saturada Ksat	7,879	15,32	0,010	63,60	3,848	7,836	0,030	37,71	14,70	21,81	0,030	79,82
Porosidad Total Pt	80,63	17,92	49,23	91,76	91,52	2,496	85,94	94,54	89,23	2,705	78,14	92,32
Porosidad de aireación (Pa,%)	11,06	4,032	6,970	26,31	10,39	1,647	8,130	14,69	10,52	2,375	7,640	16,17
Profondidad H.A	74,38	8,63	38,61	82,31	10,39	1,647	8,130	14,69	78,71	4,186	62,25	83,27
pH	4,599	0,195	4,230	5,170	4,669	0,202	4,290	5,090	4,609	0,209	4,350	5,430
Acides Intercambiable	1,317	0,825	0,400	4,200	0,856	0,467	0,090	2,000	1,040	0,389	0,500	1,900
Al^{+3}	0,760	0,673	0,100	3,800	0,463	0,293	0,100	1,400	0,473	0,182	0,200	0,800
Fosforo (P, mg $kg^{-1)}$	4,693	2,318	1,700	12,00	24,62	57,37	1,100	292,0	5,824	6,956	0,800	38,00
Potasio (K^{+1})	0,091	0,056	0,010	0,210	0,110	0,060	0,040	0,270	0,091	0,073	0,020	0,340
Calcio (Ca^{+2})	0,712	0,608	0,070	2,460	1,023	0,587	0,260	2,980	1,023	1,131	0,270	6,500
Magnesio (Mg^{+2})	0,257	0,203	0,090	1,010	0,212	0,097	0,080	0,510	0,269	0,263	0,010	1,400
% MO	4,221	0,860	2,800	6,100	6,781	1,781	2,260	10,06				

A: Alto; M: Medio; B: Bajo

En la Tabla 4 se encuentran rangos de establecidos para poder determinar el la calidad de pH y nutrientes que se encuentra presentes en la zonas de estudio (INIAP, 2012).

Tabla 4.- Rangos Establecidos

Comunidad	Ph-Media	MUY ACIDO	NEUTRO	
Unión Bellandia	4,5767	0,0-<5,0	7	
Boayacu	4,58	0,0-<5,0		
Simón B.	4,62	0,0-<5,0		
Nutrientes	Media	Bajo < 0,2	Medio 0,2-0,8	Alto >0,8-3,2
P	9,44	< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0
Ca	1,90	< 2,0	2,5 - 5,0	> 5,0
Mg	0,53	< 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5
MO	6,70	< 3,0	3,0 - 5,0	> 5,0

Dicha ferralitización, favorecida por las altas precipitaciones, ha contribuido a la lixiviación de las bases intercambiables (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+1}, K^{+1}) y de sílice. Todo esto, induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como: cuarzo, caolinita, halloysita, gibsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros químicos, principalmente el pH (Gardi *et al.*, 2014; Custode y Sourdat, 1986).

Este antecedente resulta fundamental por dos razones, la primera para entender la influencia que puede tener el cambio de uso del suelo sobre la fertilidad cuando existe la conversión de un ecosistema natural a sistemas de cultivos o ganaderos, y la segunda como elemento clave para el manejo y optimización de la fertilización.

Bajo esta perspectiva, el estudio de los parámetros químicos asociados a la fertilidad del suelo, bajo distintos usos en las tres zonas (Tablas 2,3) en las dos profundidades consideradas (0-10 y 10-30 cm) presentaron una condición química caracterizada por un pH ácido, alta acidez y aluminio intercambiable, baja disponibilidad de nutrientes y altos contenidos de materia orgánica oscilando en ocasiones de contenidos medios a bajos sobre todo en la capa subsuperficial (10-30 cm).

El pH del suelo es uno de los atributos que tiene mayor influencia en el crecimiento de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y tóxicos, la capacidad de intercambio catiónico y tiene influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo (Casanova, 2005). El valor de esta variable junto con la acidez y el aluminio intercambiable representa una limitación para la producción de los cultivos.

2.- Obtención del secuestro de carbono bajo distintos compartimientos y usos de la tierra en las tres zonas

a) Comunidad Boayacu, Unión Bellandia y Bolívar

Componente suelo.-

En la Figura 3 se presentan los resultados del secuestro de carbono en el suelo para los distintos usos y profundidades consideradas. Como se puede apreciar, no se presentaron diferencias estadísticas para ninguna de las profundidades y usos de la tierra, a pesar de que los valores absolutos reflejan valores diferentes entre usos de la tierra. Sí se puede apreciar que si existe una disminución del secuestro de carbono con la profundidad independientemente del uso de la tierra. Cuando se pondera el secuestro de carbono de 0-30 cm se observa que los tratamientos con ganadería son ligeramente superiores al resto de los usos de tierra, lo cual está asociado a las diferencias en el porcentaje de COS.

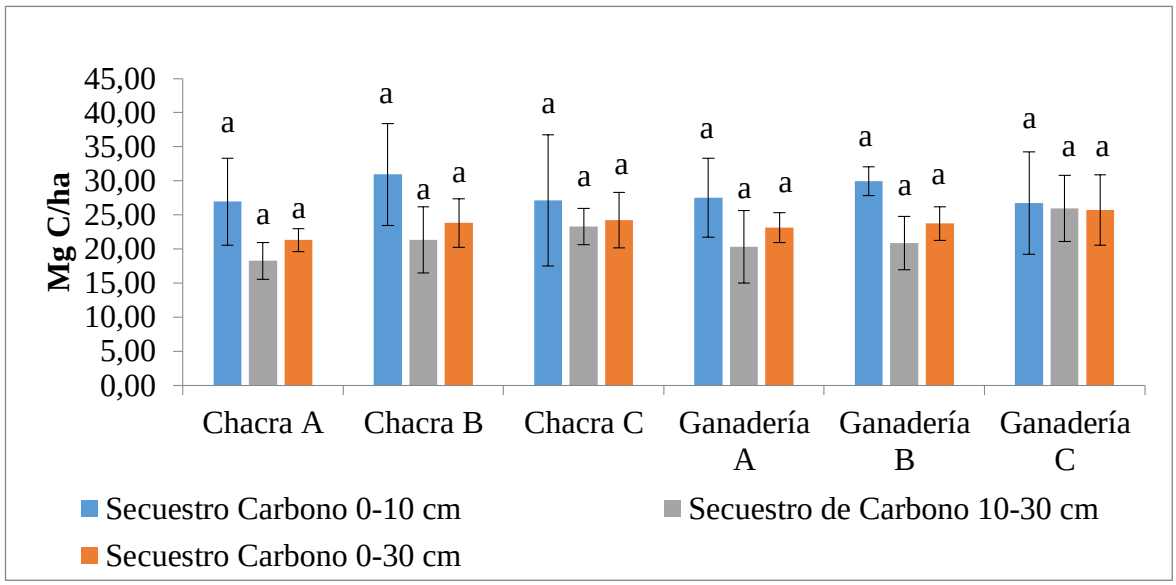


Figura 3.-Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Boayacu

En la Comunidad Bellandia el uso de la tierra era principalmente de cultivos de papa china y caña de azúcar lo cual no mostró diferencias significativas en cuanto al almacenamiento de carbono debido a que son cultivos de corto ciclo, pero en cuanto al porcentaje de almacenamiento de Carbono, en la Papa china_B tiene 31,4571CMg/ha es el de mayor resultado debido a que se encuentra a una profundidad de 0-10cm y está compuesta por residuos de hojarasca.

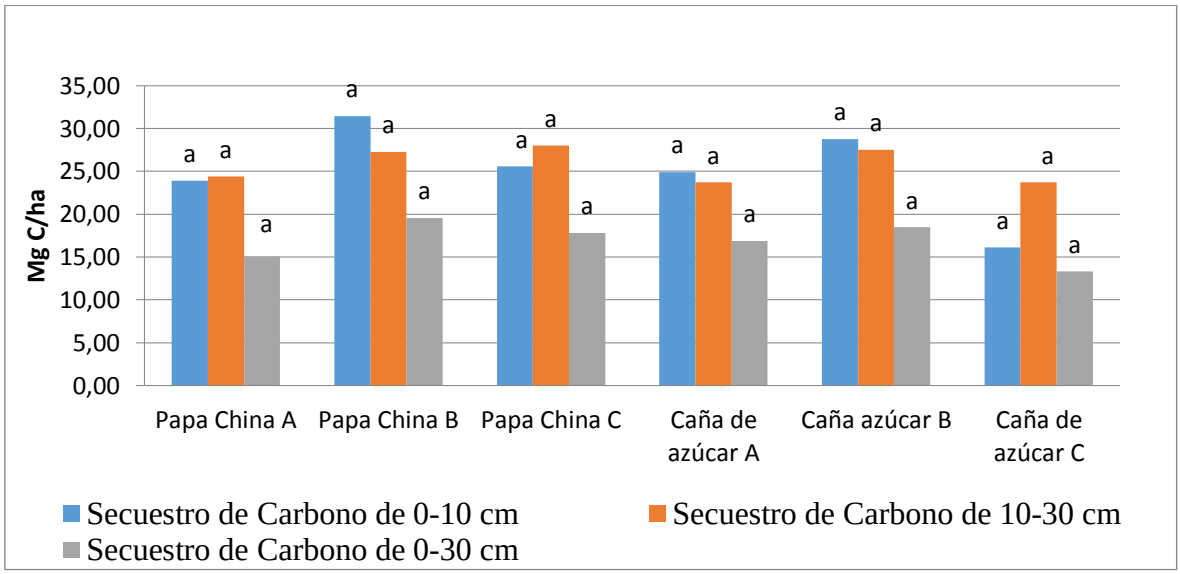


Figura 4.-Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Unión Bellandia

Es importante destacar que no hay diferencia significativa del secuestro de carbono en los usos de la tierra ya que para su determinación se realizó un análisis previo para poder obtener el peso de la muestra con la que se va a trabajar esto en las dos profundidades que es de 0-10 y 10-30 cm, debido a que los suelos más oscuros nos dice que tiene mayor materia orgánica, a menor profundidad se pesa menos y a mayor profundidad se pesa el doble (figura 5).

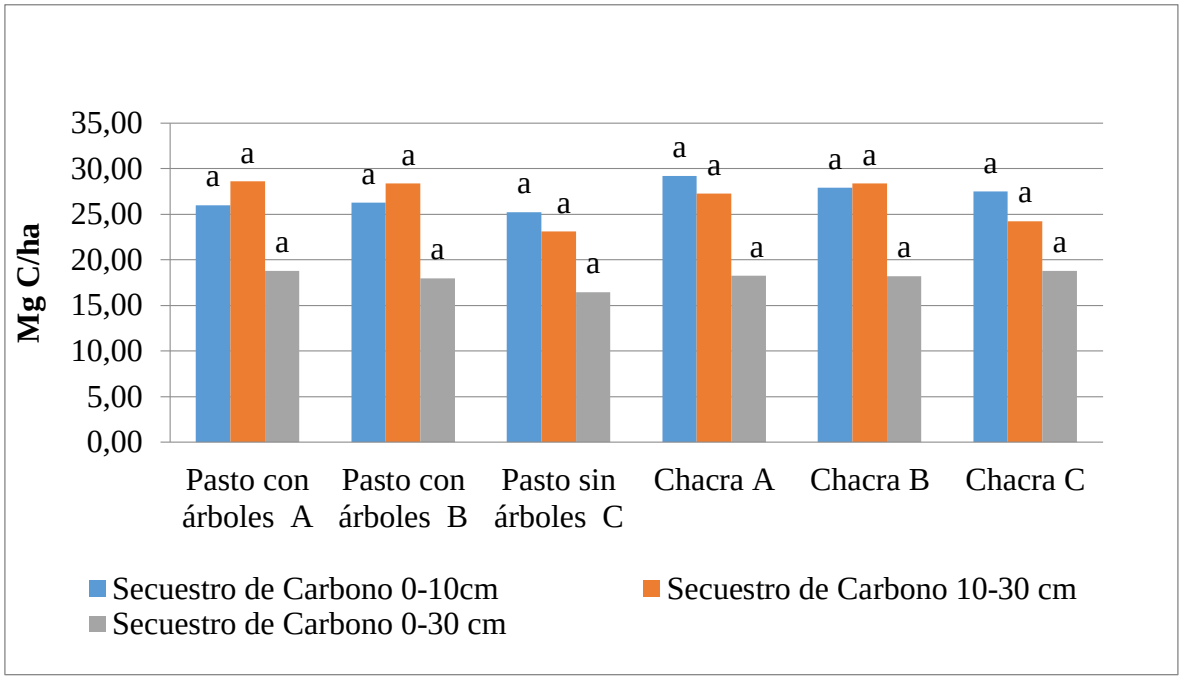


Figura 5.- Secuestro de Carbono del Suelo en la Comunidad Simón Bolívar

Componente Hojarasca.-

A diferencia del compartimiento del secuestro de carbono en el suelo, los resultados para el carbono almacenado en la hojarasca mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) (Figura 6). En este componente los usos como ganadería (Ganadería B y C) mostraron los mayores valores cercanos a 4 Mg C ha^{-1}, mientras el valor más bajo se ubicó en los tratamientos codificados como Chacra con un valor promedio de 1,24 Mg C ha^{-1}. Tales diferencias se deben fundamentalmente a la gran cantidad de materia seca aportada por los pastos utilizados en estos sistemas (Gramalote y Brachiaria).

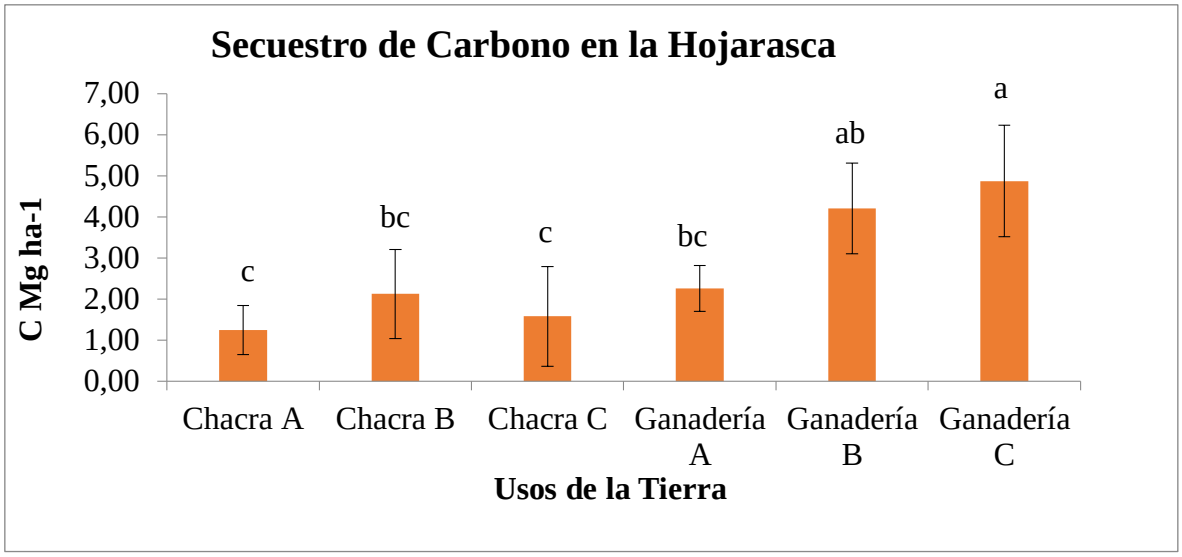


Figura 6.-Secuestro de Carbono en la Hojarasca, Comunidad Boayacu

En la Comunidad Unión Bellandia **s**e encuentra una diferencia significativa entre la papa china y la caña de azúcar, esto se debe a que en el cultivo de caña de azúcar se realizan un proceso de limpieza y desoje de la caña generando así mayor cantidad de biomasa en el suelo. La caña de azúcar_A contiene 3,2366 CMg ha en comparación con la papa china B que tiene 0,33 CMg ha.

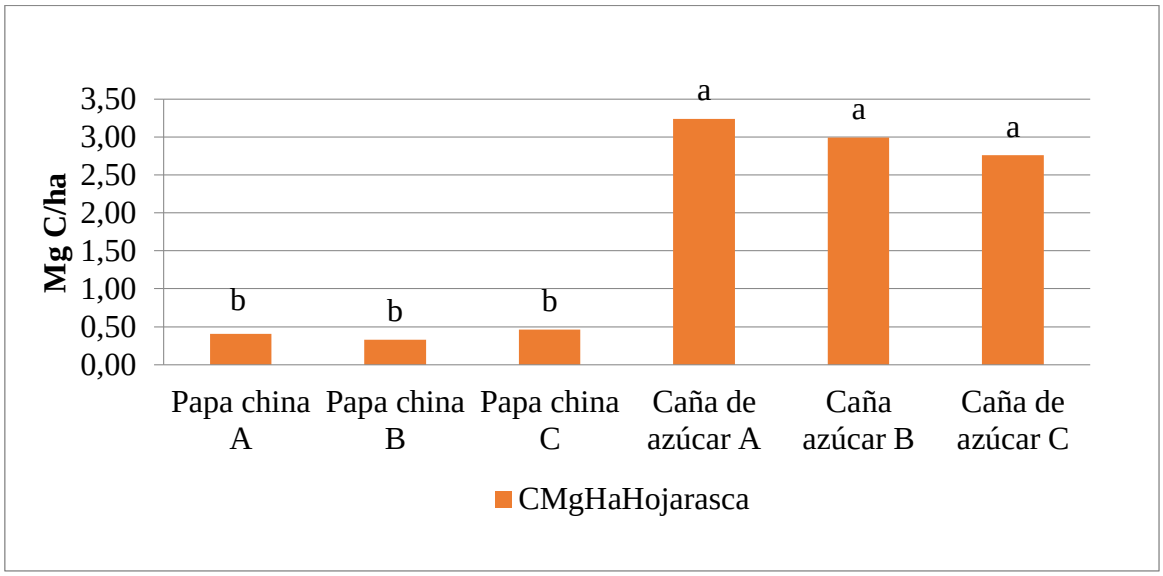


Figura 7.- Secuestro de Carbono por la Hojarasca en la Comunidad Unión Bellandia

En los resultados obtenidos en el secuestro de carbono mediante la hojarasca es más significativa debido a la cantidad de árboles y pastos presentes los cuales generan mayor cantidad de biomasa en el suelo (figura 8).

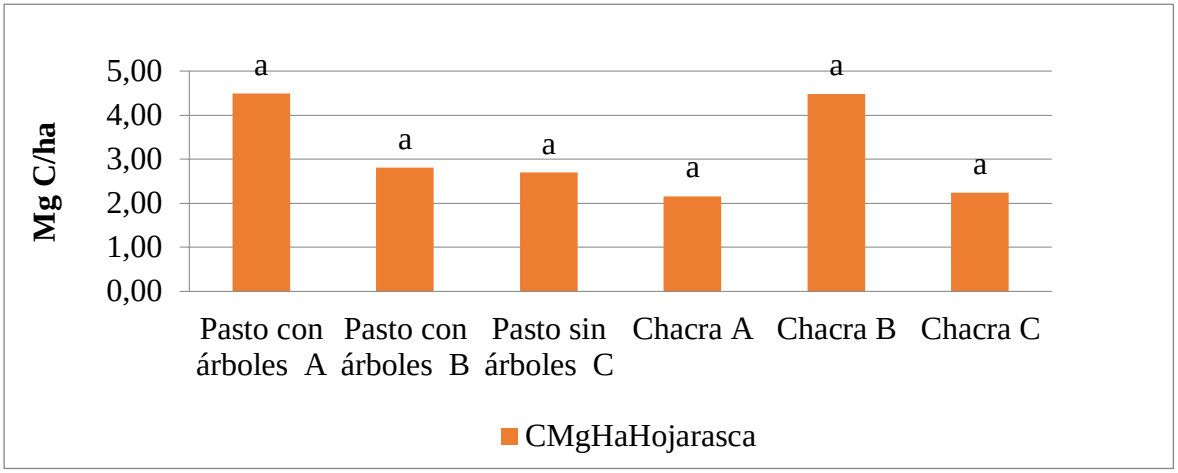


Figura 8.-Secuestro de Carbono por la Hojarasca en la Comunidad Simón Bolívar

Componente de Carbono en la Biomasa Aérea.-

En la Comunidad Boayacu las Chacras están constituidas principalmente por café, papa china, plátano, y con la presencia de especies arbóreas que varían de un sistema a otro pero que cumplen distintas funciones ecosistémicas que pueden cumplir. En la figura9 se muestra el secuestro de carbono por la Biomasa aérea presente en cada uno de los usos de la tierra seleccionada así como el potencial de CO_2 que se deja de emitir a la atmósfera. Se puede apreciar que no existe un patrón de comportamiento claramente definido ya que tanto uno de los sistemas manejado con Chacra y otro con Ganadería (Pasto con árboles) muestra los mayores valores. Los valores de Carbono almacenado en la biomasa oscilaron de 8 Mg C Ha^{-1} a 48 Mg C ha-1, lo cual se tradujo en una variación de la cantidad de CO_2 que se deja de emitir y que osciló entre 30 y 175 Mg ha^{-1}. Esto representa un gran impacto desde el punto de vista de mitigación al cambio climático y concuerda con lo señalado por varios autores, quienes indican que los sistemas agroforestales que integran la producción de árboles con cultivos y el componente animal tienen un mayor potencial para secuestrar C que pastos o cultivos agrícolas (Bravo *et al.*, 2016). Esta afirmación se basa en la noción de que la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos proporciona una mayor parte aérea neta así como mayor captura de carbono en el suelo.

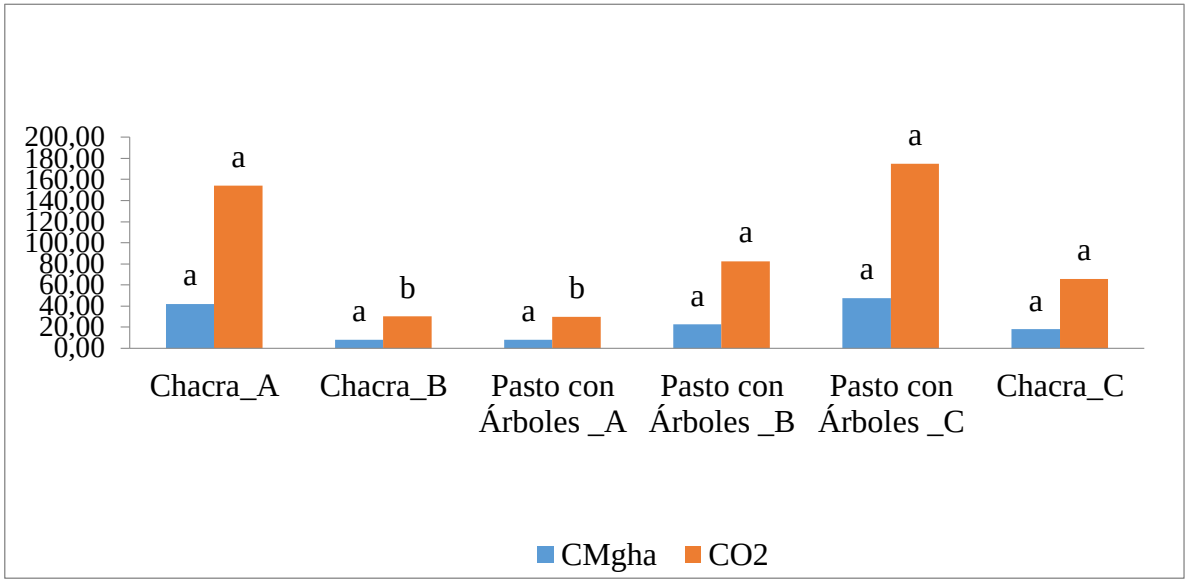


Figura 9.- Secuestro de Carbono en la Biomasa Aérea de la Comunidad Boayacu

En resumen, para esta zona la mayor contribución al carbono total almacenado va a depender del arreglo del sistema y de la presencia o ausencia de especies arbóreas (Tabla 3), así se tiene que en algunos el sistemas el carbono fijado por la biomasa aérea representó el mayor aporte al potencial de carbono total almacenado en comparación con el componente de carbono del suelo y en otros es el carbono fijado en el suelo el que proporciona el mayor aporte al total almacenado. Como se aprecia, el Carbono total almacenado (CTA) osciló desde valores cercanos a 34 hasta 65 Mg ha^{-1}, cuyo valor final estuvo muy marcado por las diferencia en la biomasa y la cantidad de árboles presentes en cada arreglo de los sistemas.

Como lo señala Rajagopal (2004), en la Comunidad Simón Bolívar la dinámica de regeneración puede afectar también las reservas de CO2, como es el caso del plátano y su hábito para regenerar hijuelos, que sumados a su capacidad de crecimiento puede afectar fuertemente la cantidad de biomasa producida. La emergencia múltiple, en el caso del café, se presenta cuando dos o más individuos emergen en un mismo nicho.

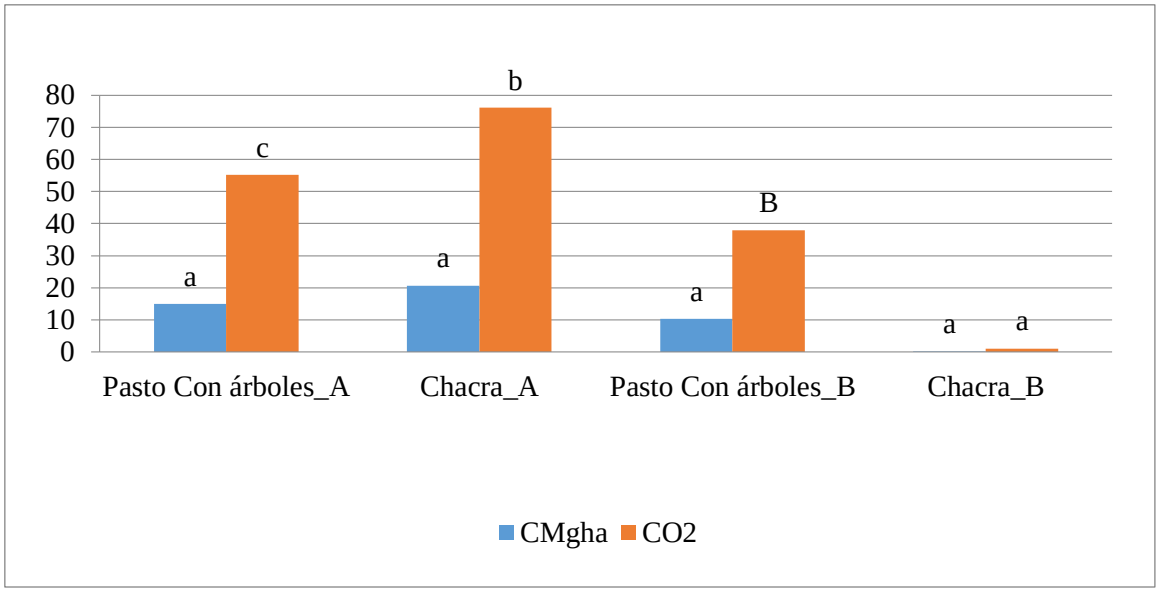


Figura 10.- Secuestro de Carbono de la Biomasa Aérea en la Comunidad Simón Bolívar

3.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2

Para obtener el carbono total almacenado se hace la sumatoria total entre la Biomasa aérea+ CHg/ha+ Csuelo 0-30cm, cabe destacar que en la comunidad Boayacu en la parcela de Pasto con árboles con 78,28 CMg T.A. Debido a que se encontró mayor cantidad de árboles con diámetros significativos.

Es importante mencionar que mientras más cantidad de árboles mayor será el almacenamiento de carbono (Tabla 5), la retención de carbono es importante para el ambiente debido a que el CO_2 es un gas responsable del efecto invernadero y al minimizar su emisión también se minimiza el calentamiento global.

Los datos más significativos en Carbono total almacenado y CO_2 retenido se encuentran ubicadas en las Tablas 5-7, en la tabla 5 correspondiente a la comunidad Unión Bellandia se encuentran porcentajes bajos esto se da por el uso de la tierra y la falta de árboles en el área de estudio.

Tabla 5.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Boayacu

COMUNIDAD	USO DE LA TIERRA	BIOMASA AÉREA	MgCO2/ha	CHg Hojarasca	C Suelo 0-30	C. Total Almacenado
BOAYACU	Chacra_ A	41,96	153,99	1,24	21,31	64,51
	Chacra_ B	8,23	30,21	2,12	23,81	34,16
	Chacra_ C	17,90	65,71	1,58	24,23	43,71
	Pasto con árboles_A	8,08	29,64	2,26	23,15	33,49
	Pasto con árboles_B	22,45	82,41	4,2	23,75	50,40
	Pasto con árboles _C	47,66	174,91	4,87	25,70	78,23

Tabla 6.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Unión Bellandia

COMUNIDAD	USO DE LA TIERRA	BIOMASA AEREA	MgCO2/ha	CHg Hojarasca	C Suelo 0-30	C. Total Almacenado
U. BELLANDIA	Papa china A	0	-	0,41	15,04	15,45
	Papa china B	0	-	0,33	19,55	19,88
	Papa china C	0	-	0,46	17,82	18,28
	Caña de azúcar A	0	-	3,24	16,85	20,09
	Caña de azúcar B	0	-	2,99	18,47	21,46
	Caña de azúcar C	0	-	2,76	13,29	16,04

Tabla 7.- Carbono Total Almacenado y retención de CO2 en la Comunidad Simón Bolívar

COMUNIDAD	USO DE LA TIERRA	BIOMASA AEREA	MgCO2/ha	CHg Hojarasca	C Suelo 0-30	C. Total Almacenado
S. BOLIVAR	Pasto con árboles A	15,02877	55,15557	4,49	18,79	38,31
	Pasto con árboles B	10,3129	37,84836	2,81	17,99	31,11
	Pasto sin arboles C	0	-	2,7	16,45	19,14
	Chacra_ A	20,71499	76,024	2,16	18,25	41,12
	Chacra_ B	0,29814	1,09417	4,49	18,24	23,03
	Chacra_ C	0	-	2,24	18,77	21

4.- Porcentaje de aportación para el almacenamiento de carbono

En cada gráfico se representa el porcentaje de Carbono que almacena de acuerdo a los usos de suelo de acuerdo a la zona de estudio

En la Comunidad Boayacu en la sub parcela de pasto con árboles el suelo tiene la capacidad de almacenamiento de un 69,1% mientras que la biomasa retiene el 24%1 dejando así el porcentaje menor de almacenamiento con 6,75% a la hojarasca.

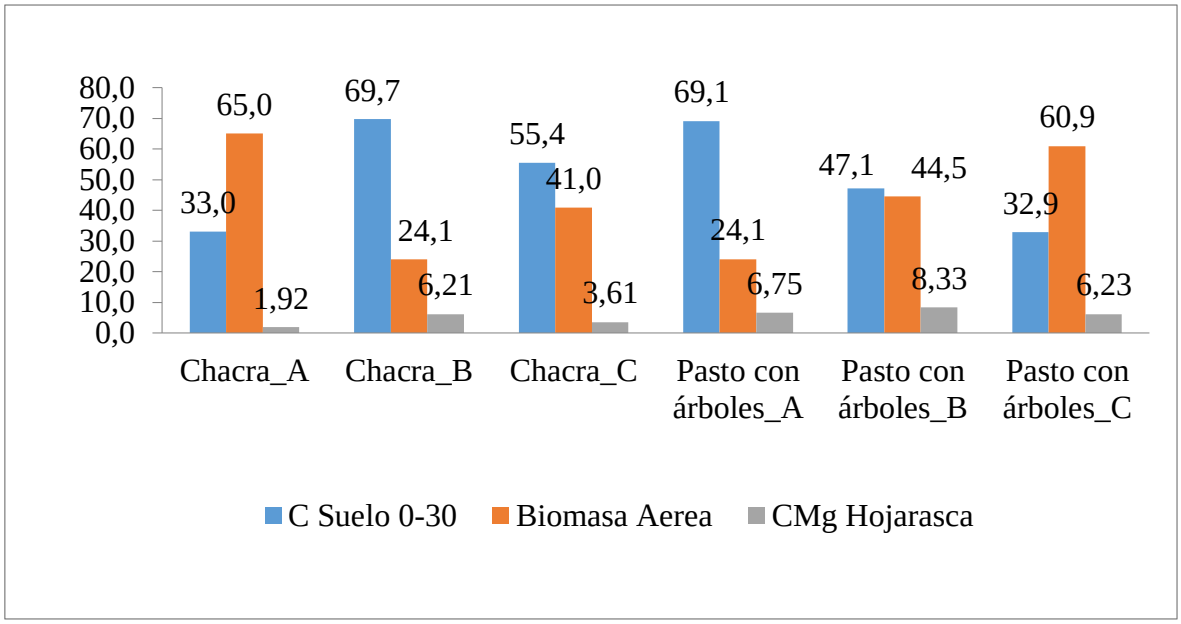


Figura 11.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la Comunidad Boayacu

En la comunidad Unión Bellandia los porcentajes de almacenamiento de Carbono son divido entre el C Suelo de 0-30cm con 98,4% y CMg Hojarasca con 1,65% en la parcela de Papachina_B siendo el punto más representativo, en este porcentaje no se toma en cuenta la biomasa aérea debido a que no se encontró árboles en la zona de estudio.

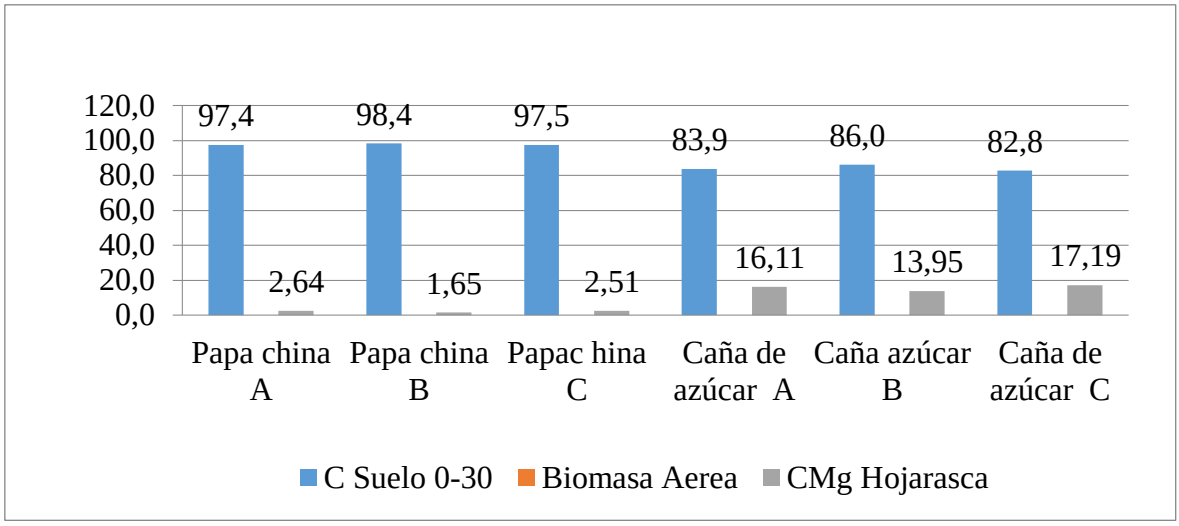


Figura 12.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la Comunidad Unión Bellandia

Los resultados obtenidos en la Comunidad Simón Bolívar se encuentra una gran diferencia de porcentaje de almacenamiento de carbono entre cada uno de los componente, el mayor porcentaje de retención se da en la Chacra_C con el 89,4% de C en el suelo con el ponderado de 0-30cm de profundidad. Se encuentra gran diferencia significativa del Almacenamiento esto se da por el uso de la tierra y la cantidad de biomasa aérea muestreada.

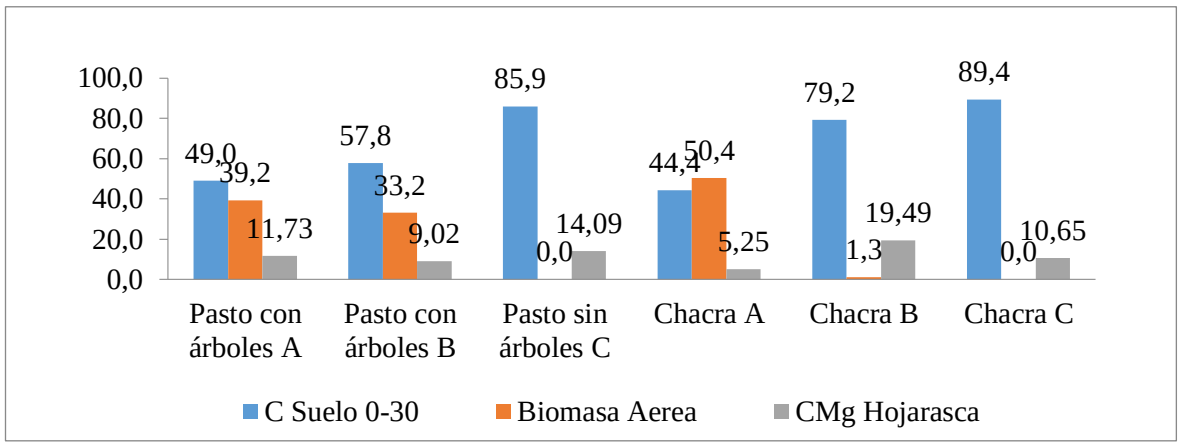


Figura 13.- Porcentaje de Almacenamiento de Carbono por uso de la tierra en la comunidad Simón Bolívar.

CONCLUSIONES

El fin del proyecto no fue hacer un análisis comparativo entre comunidades al contrario fue realizar un análisis por comunidad de acuerdo a cada componente y uso del suelo, en la Comunidad Boayacu el componente de hojarasca los resultados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), en la ganadería (Ganadería B y C) mostraron los mayores valores cercanos a 4 Mg C ha^{-1}, los valor más bajo se encuentran en la Chacra con un valor promedio de 1,24 Mg C ha^{-1}. En la Comunidad Unión Bellandia se mostró una diferencia significativa entre la papa china y la caña de azúcar, esto se debe a que en el cultivo de caña de azúcar se realizan un proceso de limpieza y desoje de la caña generando así mayor cantidad de biomasa en el suelo. En la Comunidad Simón Bolívar los resultados obtenidos en el secuestro de carbono mediante la hojarasca son más significativos debido a la cantidad de árboles y pasto acumulando mayor cantidad de materia orgánica en el suelo.

En la Comunidad Boayacu se realizó el análisis en distintos usos del suelo y tres componentes; Suelo, hojarasca y biomasa aérea dando como principales resultados, en el Suelo el secuestro de carbono en los distintos usos y profundidades consideradas, no se presentaron diferencias estadísticas considerables para ninguna de las profundidades y usos de la tierra, pero se puedo apreciar que hay una disminución del secuestro de carbono en la profundidad de 0-30 cm como se observa que los tratamientos con ganadería son ligeramente superiores al resto de los usos de tierra, en la Hojarasca los resultados para el carbono almacenado mostraron diferencias significativas, en la ganadería mostraron mayores valores cercanos a 4 Mg C ha^{-1}, mientras el valor más bajo se encontró en la Chacra con un valor promedio de 1,24 Mg C ha^{-1}. Las diferencias se deben fundamentalmente a la gran cantidad de materia seca aportada por los pastos utilizados en estos sistemas (Gramalote y Brachiaria), en la Biomasa Aérea los valores de Carbono almacenado en la biomasa oscilaron de 8 Mg C Ha^{-1} a 48 Mg C ha-1, lo cual se tradujo en una variación de la cantidad de CO_2 que se deja de emitir y que osciló entre 30 y 175 Mg ha^{-1}.

En la Comunidad Bellandia en el componente Suelo no mostró diferencias significativas en cuanto al almacenamiento de carbono debido a que son cultivos de corto ciclo, en la

Hojarasca se encuentra una diferencia significativa entre la papa china y la caña de azúcar, esto se debe a que en el cultivo de caña de azúcar se realizan un proceso de limpieza y desoje de la caña generando así mayor cantidad de biomasa en el suelo. La caña de azúcar_A contiene 3,2366 CMg ha en comparación con la papa china B que tiene 0,33 CMg ha.

En la Comunidad Simón Bolívar no se presenta diferencia significativa del secuestro de carbono en los usos de la tierra, en la Hojarasca los resultados obtenidos en el secuestro de carbono es más significativa debido a la cantidad de árboles y pastos presentes los cuales generan mayor cantidad de biomasa en el suelo, en la Biomasa Aérea representó el mayor aporte al potencial de carbono total almacenado en comparación con el componente de carbono del suelo y en otros es el carbono fijado en el suelo el que proporciona el mayor aporte al total almacenado. Como se aprecia, el Carbono total almacenado (CTA) osciló desde valores cercanos a 34 hasta 65 Mg ha^{-1}, cuyo valor final estuvo muy marcado por las diferencia en la biomasa y la cantidad de árboles presentes en cada arreglo de los sistemas.

RECOMENDACIONES

Es necesario tener información base y verídica del área de estudio en cuanto al uso del tierra para facilitar la elección de los puntos a muestrear.

Los análisis de almacenamiento de carbono en el suelo como en la biomasa aérea y no aérea se deben realizar tomando como referencia el bosque el cual nos ayudara a tener datos más exactos de la capacidad de almacenamiento de C en cada componente de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemán, R. (2015). Caracterización socio - ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana Caso Pastaza y Napo. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/284703799_Caracterizacion_socio-ambiental_de_unidades_de_produccion_agropecuaria_en_la_Region_Amazonica_Ecuatoriana_Caso_Pastaza_y_Napo

Bravo, C. (2015). Socio-Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects: Pastaza and Napo. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología.

Bravo, C. (2016). El recurso suelo: Como realizar un diagnostico integral de la fertilidad de los suelos con fines productivos?.

Bravo, C. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. Biagro.

Bravo, C., Lozano, Z., Durazno, G., & Navarrete, H. (2016). Evaluación de la Calidad de los Suelos y Salud de los Cultivos. 15-24.

Bravo, C., & Benitez, D. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. Obtenido de: https://www.uea.edu.ec/revista/images/ARTICULOS6/ARTICULO_1_VOL_4%20N_1.pdf

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de **Venezuela.**

Cepal, & Patrimonio Natural. (2013). Amazonia Posible y Sostenible. Obtenido de: https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/folleto_amazonia_posible_y_sostenible.pdf

Cevallos, E. D. (2015). Problemáticas de la Tierra en el Ecuador. Obtenido de: https://lalineadefuego.info/2015/06/23/problematicas-de-la-tierra-en-el-ecuador-por-esteban-daza-cevallos/

Custode, E. S. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana:entre la conservación y la explotación. Revista del Banco Central del Ecuador.

Davila, B. (2006). Caracterización de la materia Orgánica del Suelos representativos de Ecosistemas Amazonicos del Perú. Obtenido de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/66313/4/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20de%20suelos.pdf

Dixon, R. (1995). Agroforestry system: sources or sinks of greenhouse gases?.

FAO. (2001). Secuestro de carbono en el suelo para la gestión mejorada de la tierra 96.

FAO. (2017). Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe. Obtenido de: http://www.fao.org/americas/perspectivas/suelo-agua/es/

Gardi, C. A. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea.

Hartage, B. y. (1986). Bulk density. In C.A. Klute (de).

Jadan O., T. B. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre el almacenamiento de carbon en sistemas productivos y bosque primario en Napo,Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología.

Julio Cesar Vargas Burgos. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo, Revista, Obtenido de: https://www.uea.edu.ec/revista/images/ARTICULOS6/ARTICULO_1_VOL_4%20N_1.pdf

Lozano, Z. (2012). Efectos del uso de fertilización y cultivos de cobertura sobre el nitrógeno y la materia orgánica en un suelo de sabana, Venezuela. Revista Venesuelo.

Macbrantney, A. (2014). The dimensions of soil security.

MAGAP. (2009). Proyecto Ganaderia , Mejoramiento de la productividad de los sistemas de produccion de leche y carne Bovina en las areas criticas de la costa, Sierra y Amazonia. Obtenido de: http://es.calameo.com/read/00377117556f552062cb2

MAGAP. (2015). La Politica Agropecuaria Ecuatoriana. Obtenido de: http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Pol%C3%ADtica%20Agropecuaria%20%20al%202025%20II%20parte.pdf

Minda, B. (2012). Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10857/6.79.001237.pdf?sequence=4

Nair, R. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration.

Nelson D, L. S. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic.

Orellana, P. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana de: http://www.gporellana.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/PDYOT-2015-2019_ORELLANA_ACTUALIZADO.pdf

Pastaza, P. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia. Obtenido de: http://www.pastaza.gob.ec/pdf/consejo_planificacion/COMPONENTE%20BIOFISICO.pdf

Pastaza, P. (2015). Gobienro Autonomo desentralizado Municipal del Canton Pastaza Titulo de la obra Obtenido de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1660000250001_PDyOT%20CANTON%20PASTAZA_19-04-2015_23-45-18.pdf

Pla, L. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y. Suelos Ecuatoriales.

Plan de desarrollo de la Provincia de Pastaza. (2012). Plan de desarrollo de la provincia de Pastaza. Obtenido de: http://www.pastaza.gob.ec/leytransparencia/k/plan_desarrollo_2012.pdf

Rajagopal, R. I. (2004). Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico húmedo mexicano.

Rivaadeneira, S. (1987). Aspectos Biofisicos y Ambientales. Obtenido de: http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/39965.pdf

Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Obtenido de: http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf

ANEXOS

Anexo 1.- Recolección y preparación de las Muestras para análisis Físico.









Toma de muestra tipo Uhland en la cual se inserta 3 cilindros de 5cm de diámetro y 5cm de altura.







Saturación de las muestras para la medición de densidad aparente Da



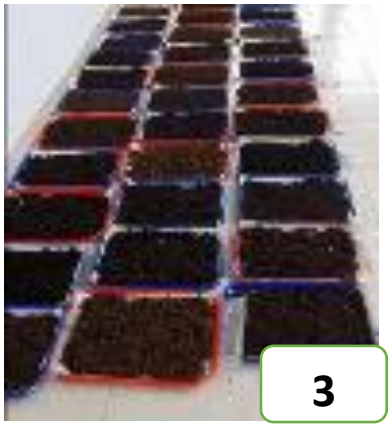


Los cilindros preparados se dejaron saturar por capilaridad en el plato de saturación la cual se pesa en un lapso de 3,12 y 24 horas .

Anexo 2.- Recolección y Preparación de la Muestra para los Análisis Químicos y Biológicos.


1


2


3

Toma de muestras para análisis químico a dos profundidades de 0-10 y 10-30 cm en los cincos puntos, se homogeniza cada muestra y se coloca en fundas siplop, se coloca en bandejas para secar al ambiente.


4


5


6

La muestra seca se procede a moler y tamizar.


7


8


9

Se pesa la muestra en mg y se coloca agua oxigenada para análisis del Ph.