

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DECANATO DE POSGRADO**



**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL, CON MENCIÓN EN**  
**SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Proyecto de titulación con componente de investigación y /o desarrollo previo a la obtención del título de:

**MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, CON MENCIÓN EN**  
**SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Título del trabajo de titulación:

Evaluación de servicios ambientales de regulación y soporte en distintos usos de la tierra, en la Provincia de Pastaza

Autor: Danilo Pedro Sarabia Guevara

Director del Trabajo de Titulación: Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD

Codirector del Trabajo de Titulación: David Sancho Aguilera, PhD

Puyo - Ecuador

2022



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
DECANATO DE POSGRADO  
FORMATO DP-UT-013A

**FORMATO DP-UT-013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA**, con cédula de identidad 1600452930, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado “**EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE REGULACIÓN Y SOPORTE EN DISTINTOS USOS DE LA TIERRA, EN LA PROVINCIA DE PASTAZA**”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

Puyo, 02 de noviembre de 2022

---

**DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA**  
CI. 1600452930



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
DECANATO DE POSGRADO  
FORMATO DP-UT-013A**

**FORMATO DP-UT-013B: CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE  
EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

**EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

**CERTIFICA QUE:**

El presente trabajo “EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE REGULACIÓN Y SOPORTE EN DISTINTOS USOS DE LA TIERRA, EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”, bajo la responsabilidad del maestrante **DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA**, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

**GARCIA QUINTANA YUDEL  
PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**GUTIERREZ DEL POZO DIEGO  
MIEMBRO 1**

**MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO  
MIEMBRO 2**



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
DECANATO DE POSGRADO  
FORMATO DP-UT-013A

**FORMATO DP-UT-011: AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN**

<b>MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL, CON MENCIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL.</b>	
<b>COHORTE: I</b>	<b>FECHA ELABORACIÓN: 30/09/2022</b>
<b>INFORME FINAL Y AVAL</b>	
<p>Quien suscribe, <b>Carlos Alfredo Bravo Medina</b> portador de la cédula de identidad número: <b>1757015373</b>, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: <b>Evaluación de servicios ambientales de regulación y soporte en distintos usos de la tierra, en la Provincia de Pastaza</b>, opción Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo, a cargo del maestrante <b>Danilo Pedro Sarabia Guevara</b>, portador del número de cédula de identidad: <b>1600452930</b>, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p>	
<b>ELABORADO POR:</b>	
Carlos Alfredo Bravo Medina CI: 1757015373 <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
DECANATO DE POSGRADO  
FORMATO DP-UT-013C

**FORMATO DP-UT-013C: CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

**CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

Quien suscribe el presente Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina PhD, con CI: 1757015373, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE REGULACIÓN Y SOPORTE EN DISTINTOS USOS DE LA TIERRA, EN LA PROVINCIA DE PASTAZA” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 6 %.

En el cantón Pastaza, a los 07 días del mes de noviembre del 2022.

**CARLOS  
ALFREDO  
BRAVO  
MEDINA**

Firmado digitalmente por CARLOS  
ALFREDO BRAVO MEDINA  
DN: cn=CARLOS ALFREDO  
BRAVO MEDINA c=EC  
o=SECURITY DATA S.A. 2  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION  
DE INFORMACION  
Motivo: Soy el autor de este  
documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022-11-02 15:03:05:00







Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina PhD  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Incluir la primera hoja del reporte de similitud de la herramienta antiplagio.

## Document Information

Analyzed document	Tesis Maestría Urkund Danilo Sarabia Guevara.doc (D148463337)
Submitted	2022-11-02 20:38:00
Submitted by	
Submitter email	cbravo@uea.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	cbravo.uea@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / URCUND_TESIS MARCELA SUIGLA.docx</b> Document URCUND_TESIS MARCELA SUIGLA.docx (D97157217) Submitted by: cbravo@uea.edu.ec Receiver: cbravo.uea@analysis.orkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / 25_01_2019_DocumentoUrkunkTHONYn..docx</b> Document 25_01_2019_DocumentoUrkunkTHONYn..docx (D47248436) Submitted by: cbravo@uea.edu.ec Receiver: cbravo.uea@analysis.orkund.com	 24
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TESIS FINAL-TALIA Y DAJHANAUrkund.docx</b> Document TESIS FINAL-TALIA Y DAJHANAUrkund.docx (D63056570) Submitted by: dajhana0496@gmail.com Receiver: cbravo.uea@analysis.orkund.com	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/425/1/T.AMB.B.UEA.3136.pdf">https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/425/1/T.AMB.B.UEA.3136.pdf</a> Fetched: 2022-03-02 20:13:26	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://library.co/document/zpwwOvy-universidad-estatal-amazonica.html">https://library.co/document/zpwwOvy-universidad-estatal-amazonica.html</a> Fetched: 2022-07-16 03:12:04	 1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Archivo para URKUND Ney Guallo.docx</b> Document Archivo para URKUND Ney Guallo.docx (D40511467) Submitted by: g12brmec@gmail.com Receiver: pmaerez.uea@analysis.orkund.com	 2

## Entire Document

Evaluación de servicios ambientales de regulación y soporte en distintos usos de la tierra, en la Provincia de Pastaza  
Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad de secuestro de carbono y fertilidad del suelo, como servicio ecosistémico, en distintos usos de la tierra en la provincia de Pastaza, región Amazónica ecuatoriana, la investigación fue descriptiva donde

se evaluó y describió distintas variables como: Carbono orgánico total, Densidad aparente, Disponibilidad de nutrientes y se comparó en función de uso de la tierra,

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Estatal Amazónica, y a todos sus docentes por haber contribuido con mi formación.

A la Universidad Estatal Amazónica y a su Señor Rector Dr. David Sancho Aguilera, PhD, por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación y su asesoramiento en el transcurso del desarrollo de la Investigación.

Agradezco al Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina PhD, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por los valiosos conocimientos aportados, por el apoyo incondicional brindado, en el transcurso de la realización de mi Tesis.

A mi familia por su paciencia, con fianza y apoyo incondicional.

todos mis amigos y amigas que me brindaron apoyo en la realización de este trabajo.

*Danilo Pedro Sarabia Guevara*

## **DEDICATORIA**

A Dios todo poderoso por la fuerza, sabiduría, paciencia y salud que me brido para poder culminar con mis estudios.

A mi madre Beatriz Odalia Guevara y a mi padre Pedro Julio Sarabia Parra, por su incondicional amor, esfuerzo, cariño y comprensión. Por ser pilar fundamental en mi formación tanto personal como profesional.

A mis hermanos: Xavier, Diego, Álvaro, Alex y Adrián, con los que siempre he contado.

A mis hijos Mateo Damián y Angelyz Daniela, fuente de mi inspiración, fuerza, amor y dedicación.

A todas las personas que a lo largo de mi vida han contribuido con mi formación profesional.

***Danilo Pedro Sarabia Guevara***



## **Resumen**

El objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad de secuestro de carbono y fertilidad del suelo, como servicio ecosistémico, en distintos usos de la tierra en la provincia de Pastaza, región Amazónica ecuatoriana, la investigación fue descriptiva donde se evaluó y describió distintas variables como: Carbono orgánico total, Densidad aparente, Disponibilidad de nutrientes y se comparó en función de uso de la tierra, y exploratoria en razón que se obtuvo información base en cuanto al secuestro de carbono como servicio ecosistémico, enfocado en mitigar el cambio climático. En ese sentido la investigación se realizó en dos fases, la primera que conllevó a muestreos en campo a los usos de la tierra seleccionados como: Sistema Agroforestal, Silvopastoril, Caña y como uso de referencia el Bosque. A partir de las muestras en campo se procedió con los análisis de laboratorio para la determinación de variables físicas y químicas. En la segunda fase se determinó la Biomasa aérea, se realizó una matriz de datos en base a los valores en campo, los datos obtenidos fueron el diámetro a la altura del pecho y la densidad de los árboles, para expresarlos en una ecuación alométrica y obtener un valor de la biomasa en  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Para el cálculo del carbono almacenado en la hojarasca el procedimiento implicó multiplicar el peso seco de la materia seca por 0,5 que representa la fracción de carbono y expresarlos en  $\text{Mg C ha}^{-1}$ , las conclusiones de la investigación mencionan que las propiedades físicas de los suelos en el área de estudio, están muy marcadas por la naturaleza del mismo, es así que los resultados del análisis de los parámetros físicos, revelan que independientemente del uso de la tierra los valores asociados a las propiedades físicas definen las mismas, de igual manera las propiedades químicas de los suelos están marcadas por la naturaleza de los suelos y por su alto contenido de materia orgánica, es así que la capacidad de retención de  $\text{CO}_2$  de los suelos está relacionada de forma directa con el uso del suelo, y la posibilidad de reducir la emisión de los gases de efecto invernadero, y contribuir con la atenuación del cambio climático, de igual manera determinó el potencial de carbono total almacenado como servicio ecosistémico, presentando una mayor cantidad en el bosque  $125,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ , lo cual favorece a otros servicios ecosistémicos asociados a una alta presencia de materia orgánica como la fertilidad, el ciclo de nutrientes (soporte) y el clima, la regulación de calidad del aire, el secuestro y almacenamiento de carbono, la prevención de la erosión (regulación).

**Palabras claves:** Bosque, Usos de la tierra, Almacenamiento de carbono, Retención de  $\text{CO}_2$ , Servicio Ecosistémico.

## **Abstract**

The objective of the research was to evaluate the capacity of carbon sequestration and soil fertility, as an ecosystem service, in different land uses in the province of Pastaza, Ecuadorian Amazon region, the research was descriptive where different variables were evaluated and described as : Total organic carbon, Apparent density, Nutrient availability and was compared based on land use, and exploratory because basic information was obtained regarding carbon sequestration as an ecosystem service, focused on mitigating climate change. In this sense, the research was carried out in two phases, the first that led to field sampling of selected land uses such as: Agroforestry System, Silvopastoral System, Sugarcane, and the Forest as a reference use. From the samples in the field, laboratory analyzes were carried out to determine physical and chemical variables. In the second phase, the aerial biomass was determined, a data matrix was made based on the values in the field, the data obtained were the diameter at breast height and the density of the trees, to express them in an allometric equation and obtain a biomass value in  $\text{Mg ha}^{-1}$ . For the calculation of the carbon stored in the litter, the procedure involved multiplying the dry weight of the dry matter by 0.5, which represents the carbon fraction, and expressing them in  $\text{Mg C ha}^{-1}$ . The conclusions of the research mention that the physical properties of the soils in the study area are very marked by its nature, so the results of the analysis of the physical parameters reveal that regardless of the use of the land, the values associated with the physical properties define them, equally. In this way, the chemical properties of the soils are marked by the nature of the soils and by their high content of organic matter, so that the  $\text{CO}_2$  retention capacity of the soils is directly related to the use of the soil, and the possibility to reduce the emission of greenhouse gases, and contribute to the mitigation of climate change, in the same way it determined the potential of total carbon stored as an ecosystem service, presenting a greater amount in the forest  $125.73 \text{ Mg ha}^{-1}$ , which favors other ecosystem services associated with a high presence of organic matter such as fertility, the nutrient cycle (support) and climate, air quality regulation, carbon sequestration and storage, erosion prevention (regulation).

**Keywords:** Forest, Land uses, Carbon storage,  $\text{CO}_2$  retention, Ecosystem Service.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
PROBLEMA CIENTÍFICO .....	2
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN O IDEAS A DEFENDER:.....	4
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Impactos ocasionados en el suelo, por los diferentes usos.....	6
2.3 Características de la parroquia Fátima. ....	7
2.4 Servicios Ecosistémicos. ....	8
2.5 Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	8
2.6 Valoración de servicios ecosistémicos.....	10
2.7 Valoración económica ambiental.....	10
2.8 Métodos de valoración de servicios ecosistémicos.....	11
2.9 Biodiversidad.....	12
2.10 Diversidad biológica forestal.....	12
2.11 El secuestro de carbono.....	12
2.12 Inventario forestal para determinación de carbono.....	13
2.13 Almacenamiento de carbono en distintos componentes (suelo, hojarasca, biomasa).....	13
2.13.1 Mecanismos para determinación de carbono almacenado.....	14
2.14 Valoración del secuestro de carbono como servicio ecosistémico.....	15

2.15 Indicadores de la calidad del suelo.....	17
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
LOCALIZACIÓN.....	18
ÁREA DE ESTUDIO.....	18
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	19
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	19
METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	19
Fertilidad Del Suelo.....	19
Evaluación del Recurso Suelo.....	19
Muestreo de campo.....	20
Muestreo de Suelo y Análisis de Laboratorio.....	20
Procesamiento de Muestras de Suelo.....	20
Secuestro de Carbono.....	21
Valoración Económica.....	23
TRATAMIENTO DE DATOS .....	23
RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.....	24
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4. 1 Caracterización de la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos bajo los usos de la tierra considerados.....	27
4.1.1 Fertilidad Física del suelo bajo distintos usos de la tierra.....	27
4.1.2 Fertilidad química del suelo en distintos usos de la tierra.....	39
4.2 Almacenamiento de carbono en distintos compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo) para los usos de la tierra considerados.....	58

4.2.1 Carbono total almacenado (CTA) de los tres compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo). .....	58
4.3 Valoración económica de los servicios ecosistémicos en base a la fertilidad y CO <sub>2</sub> almacenado, bajo los usos de la tierra considerados. ....	64
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS .....	88
Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos. ....	88
Anexo 2. Rango de interpretación para parámetros químicos.....	88
Anexo 3. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo.....	88
Anexo 4. Muestreo de suelo, análisis de laboratorio e identificación de especies forestales. ....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> .....	24
<i>Recursos Humanos.</i> .....	24
<b>Tabla 2.</b> .....	25
<i>Materiales para la toma de muestras en campo.</i> .....	25
<b>Tabla 3.</b> .....	25
<i>Equipos utilizados en los diferentes análisis.</i> .....	25
<b>Tabla 4.</b> .....	26
<i>Materiales utilizados en los diferentes análisis del suelo.</i> .....	26
<b>Tabla 5.</b> .....	28
<i>Distribución de tamaño de partículas (% Arena, % Limo, % Arcilla) en diferentes usos de la tierra y profundidad.</i> .....	28
<b>Tabla 6.</b> .....	65
<i>Valoración económica de la fertilidad del suelo bajo distintos usos del suelo.</i> .....	65
<b>Tabla 7.</b> .....	67
<i>Valoración económica del CO<sub>2</sub> equivalente en distintos usos del suelo.</i> .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	9
<b>Figura 2.</b> Localización de la finca El Naranjal, parroquia Fátima, cantón y provincia de Pastaza.....	18
<b>Figura 3.</b> Densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) bajo diferentes usos del suelo y tres profundidades de muestreo. ....	30
<b>Figura 4.</b> Conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) del suelo en diferentes usos de la tierra y tres profundidades de muestreo. ....	32
<b>Figura 5.</b> Valores promedios de porosidad total ( $P_t$ ) del suelo bajo diferentes usos del suelo y tres profundidades de muestreo.....	34
<b>Figura 6.</b> Valores promedios de porosidad de aireación del suelo ( $P_a$ ) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	36
<b>Figura 7.</b> Valores promedios de porosidad de retención del suelo ( $P_r$ ) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	38
<b>Figura 8.</b> Valores promedios de potencial hidrogeno (pH) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	41
<b>Figura 9.</b> Valores promedios de materia orgánica (MO) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	43
<b>Figura 10.</b> Valores promedios de nitrógeno total (NT) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	45
<b>Figura 11.</b> Valores promedios de fósforo disponible (P) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	48
<b>Figura 12.</b> Valores promedios de potasio intercambiable (K) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	50
<b>Figura 13.</b> Valores promedios de calcio intercambiable (Ca) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	52

<b>Figura 14.</b> Valores promedios de magnesio intercambiable (Mg) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	55
<b>Figura 15.</b> Valores promedios de azufre (S) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	57
<b>Figura 16.</b> Secuestro de Carbono en el compartimiento suelo en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	59
<b>Figura 17.</b> Secuestro de Carbono, en Hojarasca. ....	61
<b>Figura 18.</b> Carbono de la Biomasa Aérea (BA) y Carbono Total almacenado (CTA), en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo. ....	62
<b>Figura 19.</b> Dióxido de carbono, almacenado en diferentes usos de la tierra. ....	63



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el estudio de los servicios ecosistémicos o ecoservicios se ha convertido en una importante área de investigación. El gran impulso que supuso el desarrollo del proyecto de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005) dio lugar a un gran número de trabajos relacionados con el estudio de los ecosistemas, la conservación medioambiental o las consecuencias del cambio climático en el entorno natural. Sin embargo, no ha sido hasta fechas muy recientes cuando la valoración de los servicios proporcionados por los ecosistemas ha experimentado un gran interés por parte de los investigadores. El fin último de una gran parte de estos trabajos es tratar de ofrecer una valoración económica del conjunto de servicios suministrados por los ecosistemas, más allá de la simple valoración de la producción de alimentos y bienes forestales, o la cuantificación de otro tipo de servicios. Esta valoración es de utilidad para el diseño de medidas de conservación y la asignación de presupuestos por parte de las administraciones competentes, (Aznar y Velasco, 2016).

Hay varios estudios que están centrados en la definición y la clasificación de los servicios ecosistémicos. Así, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2005) supone el marco de referencia sobre el estado y las tendencias globales de los ecosistemas y los servicios que éstos proveen. Según Martín-López y Montes (2010) “los ecosistemas son entendidos como un capital natural, es decir, como aquellos ecosistemas con integridad ecológica y aptitud para lidiar con las perturbaciones (resiliencia) y por tanto, con capacidad de generar un flujo de servicios al ser humano, mediante el mantenimiento de sus funciones”. Estas funciones de los ecosistemas se definen a través de su capacidad de suministrar servicios que contribuyan al bienestar humano.

Distintas investigaciones evidencian como las disposiciones espaciales de las unidades funcionales, los hábitats, los elementos del paisaje y el uso de la tierra influyen significativamente en la generación de servicios ambientales (de Groot et. al, 2010; Syrbe and Watz, 2012; Andrade et. al, 2014; Torres et. al, 2019). En este contexto, en la región Amazónica ecuatoriana, los productores agropecuarios y especialmente los

pequeños productores agrícolas, dependen directamente de los servicios ecosistémicos para la producción en sus parcelas y por lo tanto, para el mantenimiento de sus medios de vida.

En los ecosistemas se dan interacciones múltiples y no existe una forma única de manejo, sino que en cada caso habrá que identificar las condiciones que permitan maximizar la provisión de los servicios ecosistémicos más necesarios. La agricultura, a su vez, provee servicios de regulación, aprovisionamiento y culturales esenciales para las comunidades (Poppy et. al, 2014).

La posibilidad de que un agroecosistema provea un servicio ecosistémico depende de su manejo. Con el objetivo de maximizar el servicio de provisión, tal como la cosecha, las actividades agrícolas a veces modifican o disminuyen otros servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las decisiones acerca del uso de agroquímicos en la agricultura tienen efectos en los servicios ecosistémicos. Por un lado, los pesticidas pueden eliminar las plagas, pero podrían estar eliminando también a los enemigos naturales. La aplicación de fertilizantes nitrogenados tiene consecuencias para los ecosistemas porque puede llevar a contaminación en la atmósfera y el agua. Por una parte, el productor está ganando una mejor cosecha que si no usara agroquímicos, pero los servicios ecosistémicos están pagando con menos enemigos naturales, y peor calidad de agua y de aire (Dale VH, Polasky S. 2007), con consecuencias a largo plazo. Las buenas prácticas de manejo pueden aminorar muchos de los impactos negativos que a menudo se le atribuyen a la agricultura, al mismo tiempo que ayudan a mantener la provisión de servicios ecosistémicos (Power AG, 2010) y pueden ayudar a asegurar la resiliencia ante eventos extremos.

Es importante evaluar los servicios ecosistémicos para tomar decisiones de uso y gestión de los suelos de la provincia de Pastaza.

De acuerdo a las líneas base el proyecto se enmarca en la Gestión y conservación Ambiental.

**PROBLEMA CIENTÍFICO:** En la actualidad uno de los problemas por el que está atravesando el planeta es el avance de la frontera agrícola, a consecuencia del uso inapropiado de los recursos naturales, la acción humana ha transformado la cubierta vegetal, cambiando el

uso de la tierra y alterando los estratosforestales en casi todo el planeta. Principalmente debido a las talas o quemas realizadas por la industria maderera, así como por la obtención de suelo para la agricultura, minería y ganadería.

La deforestación destruye los bosques y las selvas de forma masiva causando un inmenso daño a la calidad de los suelos, de no existir una eficiente reforestación trae graves consecuencias a la biodiversidad y un gran impacto adverso en la fijación de CO<sub>2</sub> y almacenamiento de C. Las regiones deforestadas tienden a la erosión de los suelos y la desertificación, problema que está alcanzando una gran magnitud en el mundo, a causa del beneficio económico, las operaciones madereras comerciales o la necesidad de los agricultores de mantener a sus familias. Los bosques y selvas son víctimas de la expansión de la frontera agrícola y desempeñan un papel crucial en la absorción de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global, así mismo ayudan a perpetuar el ciclo hidrológico devolviendo el vapor de agua a la atmósfera.

Los ecosistemas proveen una amplia gama de bienes y servicios a las personas, con el fin de mejorar su calidad de vida. Un servicio ambiental de gran interés a nivel global es la capturar el CO<sub>2</sub> atmosférico por parte de los bosques, que lo fijan en sus estructuras vivas y en la biomasa como reservas de carbono, logrando reducir la concentración excesiva de CO<sub>2</sub> y al mismo tiempo disminuye el efecto invernadero (Cuellar y Talaverano, 2018). Sin embargo, uno de los principales problemas de los bienes y servicios ambientales ha sido la falta de un mercado definido y seguro, un mecanismo de comercialización, así como establecer una compensación o monto a pagar por la conservación de los ecosistemas (Pérez, 2008).

Bajo esta perspectiva, la formulación del problema es: ¿Cómo el proceso de deforestación y el avance de la frontera agrícola a través de diferentes usos de la tierra como sistema silvopastoril, caña de azúcar, en comparación con el bosque secundario modifican la biodiversidad, y por ende reducirán la capacidad de secuestro de carbono y de la fertilidad como servicios ecosistémicos de regulación y soporte?.

## **HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN O IDEAS A DEFENDER:**

La evaluación de distintos usos de la tierra permitirá determinar el impacto de la deforestación y el avance de la frontera agrícola sobre el secuestro de carbono y la fertilidad del suelo como servicios ecosistémicos de regulación y soporte respectivamente.

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo General.**

Evaluar la capacidad de secuestro de carbono y fertilidad del suelo, como servicio ecosistémico, en distintos usos de la tierra en la provincia de Pastaza, región Amazónica ecuatoriana.

### **Objetivos Específicos.**

- Analizar la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Determinar el potencial de secuestro de carbono en distintos componentes arbóreo, hojarasca y suelo en los usos de la tierra seleccionados.
- Valorar económicamente el secuestro de carbono y la fertilidad del suelo, como servicio ecosistémico de regulación y soporte.

## CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Antecedentes

Conceptualmente es relevante iniciar la discusión partiendo del ecosistema. Márquez (2002) lo define como las interacciones entre los seres vivos y su entorno, mediante intercambios de materia y energía a través de los ciclos biogeoquímicos. Por otra parte, Gliessman (2007) define al ecosistema como un sistema funcional de relaciones complementarias entre el ambiente y los organismos vivos. Gliessman (2002) plantea que un ecosistema cuenta con partes físicas que conforman su estructura y procesos dinámicos que se constituyen en las funciones del ecosistema.

De Groot et. al, (2002) clasifican las funciones de los ecosistemas como de regulación, de sustrato, de producción y de información. Las funciones de regulación engloban los procesos ecológicos esenciales. Las funciones de sustrato hacen referencia a la provisión de condiciones espaciales para el mantenimiento de la biodiversidad. Las funciones de producción aluden a la capacidad de generación de biomasa que pueda usarse como alimento, tejido, energía, etc. Y, por último, las funciones de información engloban las contribuciones de los ecosistemas a través del conocimiento, la experiencia y las relaciones culturales con la naturaleza (Martín López y Montes, 2010).

Los servicios ecosistémicos son considerados como los procesos y condiciones a través de los cuales los ecosistemas naturales sostienen y satisfacen a las poblaciones humanas (Rodríguez et. al, 2016). En pocos casos se conocen las funciones de producción de los distintos servicios, es decir el vínculo entre la estructura, funcionamiento del ecosistema y el nivel de provisión de un servicio. Tradicionalmente, las funciones de producción de bienes y servicios agropecuarios o forestales han sido las mejor descritas. Por otro lado, la valoración monetaria implica la definición de un cambio marginal, difícil de asociar a un proceso ecosistémico (Paruelo, 2010).

Más aún, los sistemas agrícolas modifican a los sistemas naturales (ecosistemas) con el objetivo de producir bienes demandados por el sistema alimentario, sustituyendo parcial o totalmente los bienes y servicios que estos ecosistemas generarían naturalmente sin la

intervención humana (Sarandón y Flores, 2014). En éste mismo sentido, Sarandón y Flores (2014) sostienen que los agroecosistemas son ecosistemas modificados que pueden ser definidos como sistemas ecológicos asociados a variables socioeconómicas, cuyo objetivo es la producción de bienes y servicios.

Al ser el agroecosistema un ecosistema modificado, es comparable entonces en sus partes estructurales y funcionales con los ecosistemas. Gliessman (2007) define el Agroecosistema como un sitio de producción agrícola visto como un ecosistema, lo cual permite analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo entradas y salidas e interacciones entre sus partes.

## **2.2 Impactos ocasionados en el suelo, por los diferentes usos.**

El uso del suelo, es el uso que realizan los seres humanos. De acuerdo a la FAO define como "*los procesos de gestión del suelo (actividades), realizadas por los seres humanos que se efectúan sobre un determinado tipo de área para producir (productos y beneficios), modificarla o mantenerla*" (FAO, 1997; FAO/UNEP, 1999). El bosque se encuentra dispuesto a una fuerte presión por causa de la progresiva demanda de productos y servicios agrarios, lo cual produce la degradación y conversión de la estructura de bosques a formas insostenibles de uso del suelo (Bravo et. al, 2017).

La mayor presión que se da en los suelos es por el esparcimiento de la frontera agrícola, deforestación y degradación forestal; "*la degradación es un proceso que baja el contenido existente y potencial del suelo (nutrientes) para producir, cuanti y cualitativamente, bienes y servicios*" (Brissio, 2005), expansión y actividad urbana, la extensión de las plantaciones agroindustriales, actividad minera y petrolera; el uso incorrecto de tierras agrícolas, prácticas de gestión deficientes de suelos y aguas, uso habitual de maquinaria pesada, pastoreo excesivo, rotación inadecuada de cultivos y prácticas de irrigación deficientes (PNUMA, 2002), lo cual incide en la problemática del cambio de usos del suelo (GeoEcuador, 2008).

En este contexto, la fragmentación de los bosques ocasionada por las acciones del hombre trae consigo variaciones en la condición del ambiente, pérdida en el número y composición de genotipos, alteraciones en las interacciones biológicas, especies, tipos funcionales y unidades de paisaje (Alonso et. al, 2017).

Dentro del suelo, las moléculas orgánicas son altamente sensibles a la degradación, afectando la capacidad natural de fijar y almacenar C. Por lo tanto, la degradación del suelo disminuye los contenidos de carbono orgánico del suelo y aumenta el CO<sub>2</sub> y otras emisiones de gases de efecto invernadero (Peña et. al, 2015).

En Ecuador las categorías de utilización del suelo en el sector rural son: barbecho, pastos naturales, cultivados, cultivos transitorios, permanentes, descanso, páramos, bosques, montes, y otros usos (INEC, 2013). Del total de áreas que pasaron de bosque a no-bosque durante el período 2008 (bosque) -2014 (no bosque), el 65% pastizal, el 12% mosaicos agropecuarios, 4% cacao, 3% palma africana, 3% maíz duro, 2% café y más de 10% en otras características de cobertura (Ministerio de Ambiente, 2016). En la Amazonía se han venido experimentando altas tasas de deforestación en los últimos años y el cambio de usos del suelo (Bravo et. al, 2017), con la constante afectación sobre la biodiversidad flora y fauna, el suelo, agua y la disminución o pérdida de los ecosistemas de ofrecer sus servicios ecosistémicos.

Las condiciones de clima extremadamente lluvioso, hace que los suelos sean susceptibles al lavado de nutrientes, expondrían la poca aptitud de la región Amazónica para actividades agropecuarias tradicionales, pero si para sistemas productivos similares al bosque o para procedimientos de conservación, estos suelos están bien drenados con alta retención de humedad y materia orgánica, pH generalmente ácido y fertilidad variable (Bravo et. al, 2015). A pesar de cientos de estudios de campo y al menos una docena de revisiones bibliográficas, todavía hay un considerable desacuerdo sobre la dirección y la magnitud de cambios en las existencias de C en el suelo con el cambio en el uso del suelo (Bravo et. al, 2017).

Según el GADPF (2015), los suelos en el territorio de la Parroquia Fátima identifican el orden Inceptisol. Este tipo de suelo se origina a partir de materiales resistentes o ceniza volcánica y se caracteriza principalmente por ser suelos inmaduros en su evolución, de textura franco limoso, franco arcilloso limoso de poca profundidad y con un pH ligeramente ácido.

### **2.3 Características de la parroquia Fátima.**

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Fátima (GADPF, 2015), el sector posee abundantes bosques tropicales secundarios, donde se pretende disminuir la deforestación y fomentar la

regeneración de los bosques como principales proveedores de servicios ambientales (GADPF, 2015).

Desde el punto de vista climático se caracteriza por temperaturas promedio que oscilan de 18° - 24°C, con precipitaciones entre 3000 - 5000 mm, y una humedad relativa superior al 85% de acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Fátima (GADPF, 2015). Según el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo INEC (2010) la parroquia posee 863 habitantes. Su geomorfología es relieves disectados en 88.05%, el 4.37% escarpados y el 7.58% mesetas muy disectadas; con pendientes del 12 a 25% características de los relieves irregulares. La taxonomía de los suelos en el territorio de la parroquia se identifica el orden de suelo Inceptisol (GADPF, 2015).

#### **2.4 Servicios Ecosistémicos.**

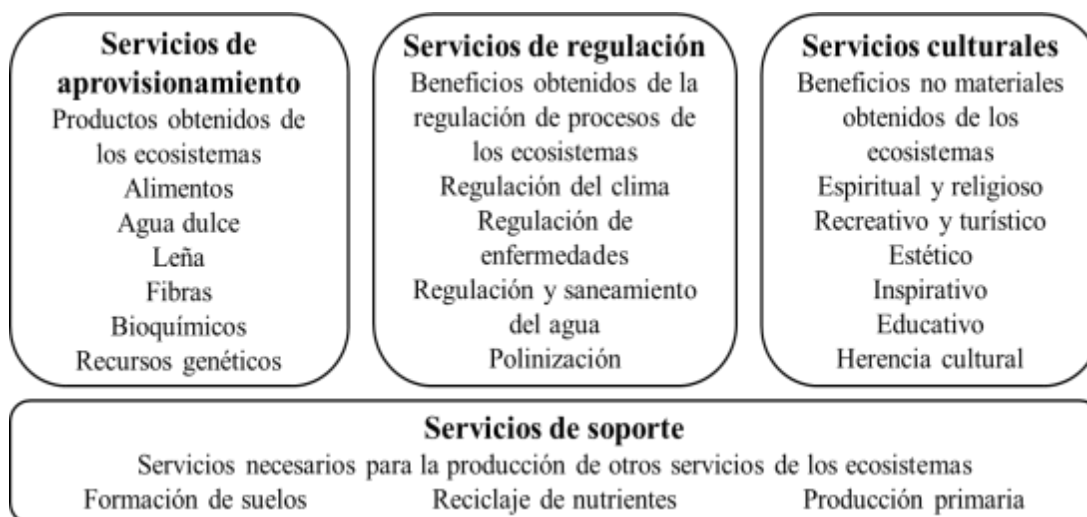
Los Servicios Ecosistémicos son el vínculo conceptual entre los ecosistemas, sus componentes, procesos y los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas, nos permite identificar las maneras directas e indirectas en que dependemos del medio ambiente (Pacha, 2014). Existen varias definiciones de “servicios ecosistémicos”, de forma coloquial se dice que los servicios son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas. Sin embargo, una definición más técnica es que los SE son los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, se disfrutan y contribuyen a generar condiciones adecuadas para el bienestar humano (Balvanera, 2012). Como parte de los ecosistemas terrestres, los suelos cumplen importantes SE, el más conocido el de soporte y suministro de nutrientes a las plantas, de ahí que la degradación del suelo esté considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos (Cram et. al, 2008).

#### **2.5 Clasificación de los servicios ecosistémicos.**

Una aproximación para clasificar los Servicios Ecosistémicos es la derivada de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, que es probablemente la más difundida y aceptada que define los Servicios Ecosistémicos como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas”. Este trabajo involucró a científicos de 95 países, que entre 2001 y 2005 se abocaron al análisis de las consecuencias originadas por cambios en los ecosistemas y estuvo estructurado



explícitamente alrededor del concepto de Servicios Ecosistémicos como un intento de integrar completamente la sustentabilidad ecológica, la conservación y el bienestar humano. Casanoves, Pla y Di Rienzo (2011) ofrecen un sistema de clasificación con propósitos puramente operacionales basado en cuatro líneas funcionales (Figura).



**Fuente:** Camacho y Ruiz (2012).

**Figura 1.** Clasificación de los servicios ecosistémicos.

El sistema de clasificación más reciente es la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES en sus siglas en inglés), desarrollada por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) y publicada en 2018. Esta clasificación difiere de la del Millennium Ecosystem Assessment (MEA) al no establecer la clase servicios de soporte pues los considera procesos y estructuras ecológicas básicas, que no proveen servicios o productos finales como sí lo hacen los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, y culturales (Haines Young y Potschin, 2018).

En segundo lugar, el enfoque de servicio ecosistémico aumenta la conciencia de que los seres humanos dependen de los ecosistemas y de que la tasa actual de pérdida de biodiversidad es perjudicial para el bienestar humano. Esto es muy importante ya que, según (Rockström et. al, 2009), existen nueve límites planetarios (Cambio climático, acidificación oceánica, agotamiento del ozono estratosférico, interferencia con los ciclos mundiales de fósforo y nitrógeno, tasa de pérdida de biodiversidad, uso global de agua dulce, cambios en los usos de la tierra, carga de aerosoles y contaminación química) que no deben ser excedidos por la

humanidad para poder asegurar un futuro sostenible. Lamentablemente tres de estas fronteras ya se han cruzado. Actualmente el nivel de cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la eliminación de nitrógeno de la atmósfera son demasiado grandes para que el sistema terrestre siga funcionando de la misma manera en que la sociedad humana está acostumbrada. En este sentido, existe un riesgo importante de que el planeta entre en un estado estacionario con condiciones inadecuadas para la existencia humana si se siguen trasgrediendo estos límites (Sundler, 2013).

## **2.6 Valoración de servicios ecosistémicos.**

La valoración de los Servicios Ecosistémicos debe incluir varios aspectos fundamentales que incluyen su caracterización, la capacidad de los procesos naturales y componentes de un ecosistema para proporcionar bienes y servicios, y su valoración económica de manera que sirva para una adecuada gestión del capital natural. En base a ello, se plantea: El valor del medio ambiente, radica en que cumple una serie de funciones que contribuyen al bienestar de la sociedad:

- a) forma parte de la función de producción,
- b) es receptor de residuos y desechos,
- c) proporciona bienes naturales cuyos servicios son demandados por la sociedad y
- d) constituye un sistema integrado que proporciona los medios para sostener la vida (Naredo, 2010).

## **2.7 Valoración económica ambiental.**

La valoración económica ambiental es un conjunto de métodos cuantitativos que permiten asignar valores monetarios a servicios ambientales, independientemente de que tengan o no un mercado; su principal objetivo es suministrar información económica a los tomadores de decisiones. Así mismo se usa para el diseño de políticas ambientales que regulan el acceso y uso de los recursos naturales, o para incluir efectos de la degradación ambiental (Gaspari et. al, 2015).

A través de la valoración de los SE podemos obtener un cuadro más completo que permite definir los costos y beneficios de las distintas decisiones asociadas a la gestión del territorio,

resaltando las mejores estrategias locales para el mejoramiento de la sostenibilidad económica y el bienestar humano. Valorar los SE puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre aspectos como el ordenamiento territorial, evaluaciones ambientales estratégicas, compensaciones por carbono y pago por servicios ambientales (Pacha, 2014). Identificando beneficios adicionales y lugares apropiados para invertir esfuerzos e inversiones. Según Arana-Medina (2015), los valores económicos de los recursos naturales y ambientales surgen como consecuencia del interés de las personas por usarlos. La literatura de valoración económica ambiental, habla de preferencias reveladas y preferencias declaradas como los dos principales enfoques a partir de los cuales se derivan las metodologías de la medición de beneficios.

## **2.8 Métodos de valoración de servicios ecosistémicos.**

Arana-Medina (2015) esquematiza algunas de las metodologías empleadas para la Valoración:

- Métodos de preferencias declaradas: Su aplicación arroja de forma explícita la valoración económica del bien mediante la simulación de un mercado hipotético.
- Métodos de preferencias reveladas: Reciben este nombre porque el valor económico del bien se obtiene a través del análisis de los comportamientos de los consumidores en mercados similares. En estos casos, las decisiones respecto al bien de mercado, sirven como aproximación de las que tendrían lugar respecto al bien sin mercado.
- Metodologías basadas en gastos: Relacionan la estimación de los valores de los costos incurridos para remediar un daño. Estos métodos no proporcionan medidas estrictas del valor económico el cual tiene sus bases metodológicas en la disponibilidad a pagar de los individuos por un bien o servicio.
- Metodologías basadas en precios de mercado: Este método estima los valores económicos de los productos o servicios de los ecosistemas que son comprados y vendidos en los mercados comerciales, permite cuantificar los cambios de valor en la cantidad o calidad de un bien o servicio.

## **2.9 Biodiversidad.**

La biología define a la biodiversidad como la variedad y variabilidad de los seres vivos y de los ecosistemas que estos integran. Los componentes de la diversidad biológica, se organizan en tres niveles: el de los genes, de las especies y de los ecosistemas (Crisci, 2006). Escobar (1999) manifiesta un ejemplo de coproducción tecnológica, científica y social, deduciéndola como potenciadora de una red transnacional que abarca diversos ámbitos en términos de prácticas culturales e intereses.

La productividad y el funcionamiento de los ecosistemas incrementan al aumentar la biodiversidad, misma que se puede valorar en términos económicos, a su vez trae grandes ventajas para la conservación de los ecosistemas y la optimización de los SE. En esta tarea de valoración, la participación de las comunidades que más interactúan con el entorno natural son la clave para una apropiada valoración (Sánchez y Madriñán, 2012).

## **2.10 Diversidad biológica forestal.**

Comprende todas las especies de plantas, animales y microbios presentes en el bosque, en los bosques tropicales hay alrededor del 50% de todos los vertebrados conocidos, el 60% de las especies vegetales y tal vez el 90% del total de especies mundiales, como ecosistemas, los bosques varían mucho en todo el mundo. La diversidad biológica forestal es un recurso fundamental, pues incluye las especies del mundo y sus genes constitutivos, de los que depende la salud y la prosperidad de la humanidad, así como el buen orden del medio ambiente. La pérdida de ecosistemas, especies y genes es una importante amenaza para la supervivencia humana y de otros organismos (Burley, 2002).

## **2.11 El secuestro de carbono.**

La concentración de gases de efecto invernadero son producto de actividades antropogénicas; en este sentido, es importante profundizar en investigaciones sobre secuestro de carbono en bosques tropicales secundarios e incursionar en el mercado de carbono como opción viable en la reducción de estos gases (Farley, 2007).

Cuantificar el carbono almacenado en bosques secundarios tropicales, representa un tema de gran relevancia (MAE, 2012); para ello es necesario conocer la información completa del contenido de carbono en cualquier tipo de ecosistema (Ordóñez, 1998).

Se considera sumidero al área por donde se canaliza el agua, los nutrientes o cualquier tipo de compuesto, físico o químico; o que sirve de almacén de estos. Este término se aplica en la actualidad a los bosques para significar su papel en la absorción del CO<sub>2</sub> de la atmósfera. El concepto de sumidero, en relación con el cambio climático, fue adoptado en la Convención Marco de Cambio Climático de 1992 (Naciones Unidas 1992).

Según la Convención, un sumidero es cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera los gases precursores del efecto invernadero. En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, que se traducen en una captura del CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera y su almacenamiento en forma de materia vegetal (Naciones Unidas 1992).

### **2.12 Inventario forestal para determinación de carbono.**

Los bosques son reservorios de carbono que absorben aproximadamente 30% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> en un año (Soriano-Luna et. al, 2015). La estimación de la biomasa arbórea juega un papel clave en el manejo forestal sustentable y en la determinación de los almacenes de carbono forestal (Cutini et. al, 2013). Para la estimación de carbono acumulado en distintos ecosistemas forestales, se utilizan los inventarios de carbono, que contabilizan el carbono fijado para poder ser comparados entre sí, reflejando la cantidad real de carbono acumulado por los ecosistemas (Schlegel et al., 2001), siendo las especies arbóreas al relacionarse directamente con el área basal las que aportan la mayor cantidad de carbono, el cual es un buen indicador del contenido de carbono para el estrato arbóreo en un ecosistema. Por lo tanto, deben comprender un diseño muestral riguroso (Acosta y Carrillo, 2009).

### **2.13 Almacenamiento de carbono en distintos componentes (suelo, hojarasca, biomasa).**

Los ecosistemas forestales son la principal fuente de madera y energía, como lo indican los 3 400 millones de metros cúbicos anuales de extracción de madera a nivel mundial registrada en FAO (2005), y al mismo tiempo son el almacén principal de carbono (C) terrestre, ya que almacenan 861 Pg C (1 Pg = 10<sup>15</sup> g), este gran almacén de carbono está dividido en diferentes

componentes, el 44% (383 Pg C) está en el suelo (1 m de profundidad), el 42% (363 Pg C) en la biomasa (aérea y subterránea), el 8% (73 Pg C) en la madera muerta y el 5% (43 Pg C) en el mantillo, aunque esta distribución depende del tipo de bioma, la composición de especies y la intensidad de aprovechamiento (Pan et. al, 2011). En los ecosistemas forestales el contenido máximo de mantillo y desechos leñosos se produce a niveles intermedios de lluvia, mientras que los valores más bajos se dan en extremos secos y húmedos del gradiente de lluvia (Galicia et al., 2015).

Meier y Leuschner (2010) manifiesta que en los sitios más secos (600 mm de precipitación media anual) los almacenes de C en el mantillo, en el horizonte de fermentación y en el suelo mineral disminuyeron en un 25% por las tasas de descomposición más altas que en los sitios más húmedos (970 mm). En contraste, también se ha reportado que sitios más secos tienden a capturar más C en el mantillo que los más húmedos, donde la descomposición resulta ser más rápida (Kurz-Besson et. al, 2006).

Los bosques poseen un rol crucial en la sostenibilidad de la sociedad, cumplen un papel relevante como sumideros de carbono debido a que lo almacena de diferentes formas debido al proceso del ciclo de carbono. El 80% del carbono que proviene del suelo, de la vegetación y del intercambio con la atmósfera, corresponde a los bosques; al ser parte importante del crecimiento propio de los árboles, estos adquieren un papel importante en el equilibrio del carbono, reduciendo a la vez grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Chimbo, 2016).

### **2.13.1 Mecanismos para determinación de carbono almacenado.**

- **Método tradicional:** Se basa en los datos del volumen comercial (a partir de información básica de inventarios), la densidad básica de la madera y el factor de expansión de biomasa (FEB). Este método se sugiere para bosques densos, secundarios o maduros que se encuentran en climas húmedos y semiáridos (Brown, 1997).
- **Método destructivo o directo:** Se lo utiliza para la aplicación de la medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema (Brown, Gillespe y Lugo, 1989, citado por Návar, González, N, y Graciano, 2001). Proporciona un valor exacto de la biomasa puesto que se genera la destrucción total de los árboles para calcular su peso en seco o biomasa.

- **Método no destructivo o indirecto:** Consiste en cubicar los árboles y estimar volúmenes de la madera mediante la toma de muestras, para esto se toman parámetros necesarios como el peso en seco y la densidad de la madera, necesarios para estimar la biomasa total (Andrade y Segura, 2008).

#### **2.14 Valoración del secuestro de carbono como servicio ecosistémico.**

El desconocimiento del beneficio ambiental y los costos económicos de la degradación de los recursos naturales, puede resultar una de los importantes orígenes de la creciente sobrexplotación y deterioro de los ecosistemas (Miranda et. al, 2007). Dicho ecosistema es el sustento de las actividades económicas, ya que suministran materias primas para los procesos lucrativos (González et. al, 2013). Uno de los temas que está en discusión es la valoración a los servicios ecosistémicos (Iwan et. al, 2017).

Los servicios relacionados por un ecosistema deben ser reconocidos, clasificados, y luego valorados económicamente. Aquella valoración constantemente se basa en valores antropocéntricos, es decir, el valor de los humanos. Estos valores se dividen en dos condiciones: uso y no uso. En cuanto a los valores de uso se dividen en tres categorías: opción, directo e indirecto. Para la captura de carbono, se aplica a los valores de uso indirecto, los cuales encierran valores afines a servicios de regulación como la mitigación de inundaciones o control de plagas y enfermedades (Jónsson et. al, 2016). Al valorar los servicios ecosistémicos se logra contribuir con la toma de medidas sobre diferentes aspectos como son el ordenamiento territorial, evaluaciones ambientales necesarias, compensaciones por carbono y pago por servicios ambientales (Pacha, 2014).

Los beneficios proporcionados por el ecosistema natural como los bienes y servicios no se incluyen al proceso político para la toma de decisiones en cuanto al manejo de recursos naturales, por motivo de la falta de juicio a los valores que están correlacionados con el bienestar humano (Rodríguez et. al, 2016). De esta forma, la valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono facilita una mejor toma de decisiones en cuanto a cambio de uso de suelo y sus consecuencias (López, 2016). Estas decisiones convendría basarse en dos aspectos primordiales, considerando las diferentes categorías de los servicios ecosistémicos (1) el valor comerciable “valor de uso” y no-comerciable “valor de no uso” a

los bienes y servicios de los ecosistemas, (2) y la distribución espacial de estos valores (Rodríguez et. al, 2016).

Los economistas eligen entre varias herramientas de valoración que tienen en su disposición para colocar un valor monetario estimado sobre los servicios identificados, y esto se ha hecho para varios ES de suelo. El método basado en los costos es el más apropiado donde se valora los servicios de soporte y regulación, debido a que son los costos de evitar daños o la sustitución de los ecosistemas, el costo incurrido debido a daños a los servicios ecosistémicos, o el costo de reemplazar ES por proporcionar servicios sustitutos (Jónsson et. al, 2016). El pago por Servicios Ecosistémicos (PSA), considerado como un incentivo productivo que comienza por una depreciación más equitativa de costos y beneficios asociados a la conservación. Con ello se reconoce que los sistemas ofrecen servicios ecosistémicos que corresponden ser remediados económicamente por parte de los beneficiarios y redistribuidos a los provisosores de tales servicios (González et. al, 2013). Estos sistemas de pagos son necesarios que tengan una estructura, en cual supervise su trabajo, detalle las acciones y los niveles de pago, a su vez aprecien los impactos al cambio de uso de suelo, y de ser necesario ajuste según acuerden las actividades y pagos (Mayrand et. al, 2004).

Muchas técnicas para la valoración de los servicios ecosistémicos se han desarrollado y aplicado. Dichas técnicas reconocen la asignación de un precio a los servicios ecosistémicos sin un mercado, como la protección contra los peligros naturales, la regulación del clima y el agua (Rodríguez et. al, 2016). Los servicios reguladores del capital natural del suelo que han sido valorados incluyen: control biológico de plagas y enfermedades; regulación del clima y del gas; control hidrológico; filtrado de nutrientes y contaminantes además al reciclaje de desechos y la desintoxicación (Jónsson et. al, 2016).

El valor económico comercializado y no comercializado con respecto a los bosques de ocho países mediterráneos presentó un 25 y 96%, relacionado a actividades recreativas, la captura de carbono y la protección de cuencas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

De acuerdo a Miranda et. al, (2007), el valor del secuestro de carbono se estima de forma directa, a partir de los precios de mercado disponibles por tonelada de carbono (C). Estos mercados son globales y altamente competitivos, debido a su competencia hace que los



proveedores del servicio compriman los costos de transacción y disminuyan el peligro asociado con la confiabilidad de los créditos de carbono. El mercado global de carbono está influenciado Protocolo de Kyoto (González et. al, 2013), y la necesidad de tomar acciones debido a las actividades humanas que influyen el proceso de calentamiento climático global a la concentración de gases de efecto invernadero y las influencias negativas sobre la salud, la seguridad alimentaria, el agua y otros recursos naturales (Eguren, 2004).

### **2.15 Indicadores de la calidad del suelo.**

La calidad del suelo no se puede medir directamente en el campo o en un laboratorio, sin embargo, se puede inferir a través del uso de indicadores considerados como aquellas propiedades del suelo medibles que tienen mayor sensibilidad a los cambios en la función del suelo (Salome et. al, 2016). Los indicadores de calidad del suelo deben abarcar procesos ecosistémicos, integrar propiedades del suelo, ser sensibles a las prácticas culturales y al clima. Se pueden considerar indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, por su elevado costo no es factible considerarlos todos (Zornoza et. al, 2015).

Las propiedades físicas reflejan la limitación para el desarrollo de las raíces, emergencia de plántulas, infiltración o retención de agua; una de las más evaluadas la densidad aparente (Burger y Kelting, 1999). Para el caso de la condición química, afecta las relaciones suelo-planta, calidad del agua, capacidad de amortiguación, disponibilidad de nutrientes y de contaminantes, el carbono orgánico del suelo, considerado como uno de los indicadores de mayor importancia por su estrecha relación con las demás propiedades. Asimismo, el pH, conductividad eléctrica y los nutrientes indicadores de fertilidad agrícola son los de mayor aplicación (Trujillo-González et. al, 2017). En cuanto a los indicadores biológicos, desempeñan funciones importantes como el reciclaje de nutrientes y la agregación del suelo, ya que responden inmediatamente a las perturbaciones y los cambios en el uso del suelo. Los más empleados el carbono y nitrógeno en biomasa microbiana, actividad enzimática y organismos como las lombrices y artrópodos (Doran y Zeiss, 2000).

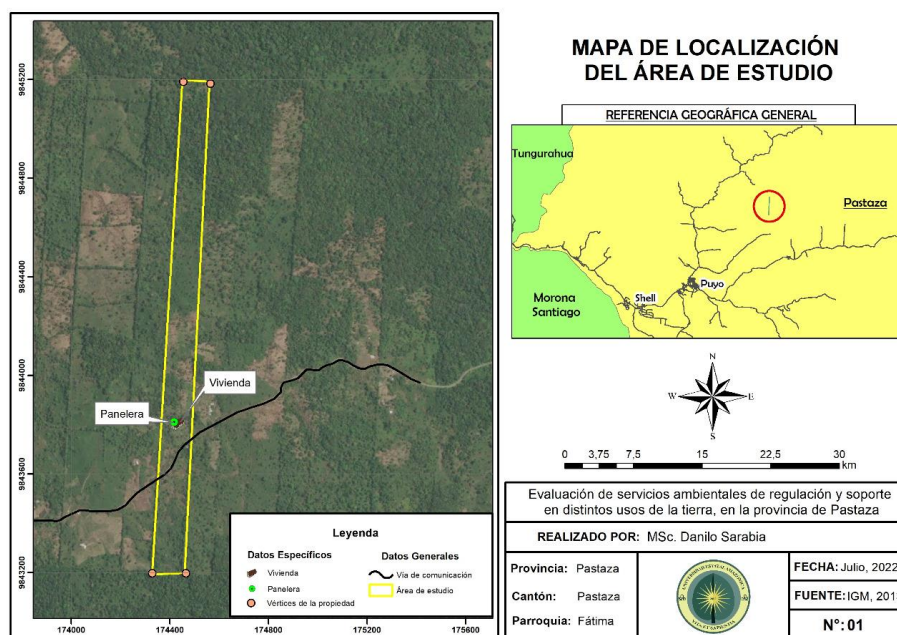
## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### LOCALIZACIÓN.

El trabajo de investigación se desarrolló en la parroquia Fátima, perteneciente al cantón Pastaza, provincia de Pastaza, cubre un área de 71.59 km<sup>2</sup>, geográficamente está situada en: 77°00'00" Oeste de Longitud y 01°24'40" de Latitud Sur, limita al norte con la parroquia Teniente Hugo Ortiz, al sur con las parroquias Puyo y Diez de Agosto, al este con la parroquia Diez de Agosto, y al oeste con la parroquia Mera del cantón Mera. Entre los más importantes caseríos tenemos a: La Florida, Bellavista, Libertad, Murialdo, Simón Bolívar, El Rosal, Colonia Amazonas y 9 de octubre. La población según el censo realizado por el INEC en el 2010 la Parroquia Fátima tiene una población de 863 habitantes. Los ríos más importantes anotamos: Anzu, Arajuno, Guamanyacu y Puyo y la temperatura oscila entre 18° C. y 24° C.

### ÁREA DE ESTUDIO.

El estudio se realizó en la finca El Naranjal, para lo cual se consideró cuatro usos de la tierra: Sistema Agroforestal, Sistema Silvopastoril, cultivo de Caña y como uso de referencia el Bosque (Figura 2).



**Figura 2.** Localización de la finca El Naranjal, parroquia Fátima, cantón y provincia de Pastaza.

## **TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

Los tipos de investigación fueron: descriptivo por que se evaluó y describió distintas variables como: Carbono orgánico total (COT), Densidad aparente (Da), Disponibilidad de nutrientes y se comparó en función de uso de la tierra, y exploratoria en razón que se obtuvo información base en cuanto al secuestro de carbono como servicio ecosistémico, enfocado en mitigar el cambio climático.

## **MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.**

El estudio siguió un método de investigación experimental, porque se obtuvo los datos a través de la experimentación, a fin de determinar las causas de la variación de la fertilidad del suelo y el secuestro del carbono.

## **METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN.**

La metodología general se realizó en dos fases, la primera que conllevó a muestreos en campo a los usos de la tierra seleccionados como son: el Sistema Agroforestal, Silvopastoril, Caña y como uso de referencia el Bosque. A partir de las muestras en campo se procedió con los análisis de laboratorio para la determinación de variables físicas y químicas del suelo. En la segunda fase se determinó la Biomasa aérea, se realizó una matriz de datos en base a los valores en campo, los datos importantes de la matriz fueron el diámetro a la altura del pecho DAP a 1.30 metros y la densidad de los árboles, en base a valores de referencia con las tablas de densidad global (Baker et. al, (2004), para expresarlos en una ecuación alométrica, establecida por Chave et. al, (2005), y obtener un valor de la biomasa en  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Para el cálculo del carbono almacenado en la hojarasca el procedimiento implicó multiplicar el peso seco de la materia seca por 0,5 que representa la fracción de carbono y expresarlos en  $\text{Mg C ha}^{-1}$  propuesto por el IIPC, 2014.

## **Fertilidad Del Suelo.**

### **Evaluación del Recurso Suelo.**

Se seleccionó cuatro usos de la tierra más representativos codificados como:

- Sistema Silvopastoril.
- Caña.

- Sistema Agrosilvopastoril.
- Bosque

### **Muestreo de campo.**

El muestreo de campo se realizó en la Finca El Naranjal, ubicado en la Parroquia Fátima, Cantón y Provincia de Pastaza, para la obtención de las muestras de suelo, hojarasca y vegetación se realizó un muestreo de campo con la siguiente secuencia:

- a) Establecimiento de un transecto que cubra toda la variabilidad topográfica, vegetación y suelo en cada uso de tierra seleccionado.
- b) Localización sobre el transecto de cinco puntos de muestreo, de manera equidistante y en función del tamaño de la parcela.
- c) Establecimiento de una subparcela de 160 m<sup>2</sup> en cada punto de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5), en la cual se recolectó cinco submuestras de suelo a tres profundidades (0-10 cm; 10- 20 cm y 20 - 30 cm). Dichas muestras conformaron la muestra compuesta por punto y se usó para la evaluación de parámetros químicos.
- d) En la parte central de la subparcela se colocó un cuadrante (0.25 m<sup>2</sup>), donde se tomó la muestra de biomasa, y las muestras no alteradas a tres profundidades (0-10,10-20 y 20-30 cm) para evaluación de parámetros físicos. Se consideró muestras alteradas a la hojarasca y muestras no alteradas al suelo recogido a tres profundidades.
- e) En los usos del suelo con árboles (Sistema Silvopastoril y Sistema Agrosilvopastoril), se estableció tres parcelas temporales mediante una circunferencia con un radio de 15 a 30 m correspondiente a 706 y 2827 m<sup>2</sup> respectivamente, donde se identificó los árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm a la altura de 1.30 DAP (Bravo et. al, 2017).

### **Muestreo de Suelo y Análisis de Laboratorio.**

#### **Procesamiento de Muestras de Suelo.**

##### **Análisis Físicos**

Para la determinación de parámetros físicos del suelo se usó 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 las siguientes variables: **a)** densidad aparente (Da)

usando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) **b)** conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) mediante el método de carga variable, siguiendo el método descrito en Pla (2010), **c)** distribución de tamaño de poros ( $P_t$ : porosidad total), **d)** porosidad de aireación ( $P_a$ : poros de radio  $>15 \mu m$ ), **e)** porosidad de retención usando la mesa de tensión a saturación y un potencial mátrico de -10 kPa (Blake y Hartge, 1986).

### **Análisis Químicos**

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 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 ( $H_2SO_4 + FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Para medir el pH se usó el método de potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5), las bases cambiables ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^{1+}$ ) y contenido de fósforo fueron medidas por la metodología de Olsen modificado (Bertsh, 1995).

### **Secuestro de Carbono.**

#### **Carbono Orgánico del Suelo.**

El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 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 cromo fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N ( $H_2SO_4 + FeSO_4 + 7H_2O$ ).

El potencial de secuestro de carbono en el suelo ( $Mg ha^{-1}$ ) para los distintos usos de la tierra, fue cuantificado mediante la multiplicación de la densidad aparente ( $Mg m^{-3}$ ), el valor del carbono, la profundidad de cada intervalo de muestreo (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) y el área correspondiente a una hectárea, utilizando la siguiente ecuación:

$$COS = Da \times CO \times Profundidad \quad (1)$$

### **Carbono de la Biomasa Aérea.**

Para el efecto la ecuación alométrica permitió calcular la biomasa aérea y posteriormente se determinó la cantidad de carbono almacenado, (Chave et. al, 2005):

$$\mathbf{BSSárbol} = (p * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(D)) + (0.207 * \ln(D)^2) - (0.0281 * \ln(D)^3)) * 0.001 \quad (2)$$

Donde:

**BSSárbol**= Biomasa aérea sobre el suelo

**P**: Densidad de Madera (g/cm<sup>3</sup>).

**D**: Diámetro a la altura del pecho (cm).

### **Carbono de la Vegetación no Arbórea (Hojasca, Verde).**

En los mismos puntos para la toma de muestras de los parámetros físicos se estableció un marco cuadrado de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 m x 0.5 m) y se recolectó todo el material localizado dentro del mismo. 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 (Mg) de materia seca por hectárea y posteriormente obtener la cantidad de carbono por hectárea (Mg. C/ha<sup>-1</sup>), mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta\mathbf{CBN\ muestra} = \mathbf{MS} * \mathbf{CF} \quad (3)$$

Donde:

**ΔCBN muestra**: Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (Mg C/0,25 m<sup>2</sup>) y llevar a su correspondiente en hectárea Ha.

**MS**: Materia seca (Mg).

**CF**: Es la fracción de carbono (Mg C/Mg MS) determinada mediante el valor propuesto por el IPCC de 0,5.

## **Valoración Económica.**

### **Valoración Económica de Fertilidad del Suelo y CO<sub>2</sub> Equivalente como Servicio Ecosistémico.**

La valoración de los servicios ecosistémicos se realizó usando los métodos de valoración de uso directo e indirecto, que permitió obtener el valor económico total (VET) (Hanley et. al, 2006). El caso de los componentes asociados a la fertilidad (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio) se usó como método el “precio de mercado” que estima el valor económico de un bien o servicio ecosistémico que se vende en el mercado, por tanto, el costo de los fertilizantes simples como insumo agrícola que se usa en el manejo del cultivo permitió derivar el precio de cada nutriente.

El caso del carbono su valoración se realizó en función del método “basado en el costo”, que consideran los costos reales asociados con el costo evitado, el costo del daño o el costo de reposición (Kumar y Kumar, 2008). En la práctica, los métodos basados en los costos se aplican de forma más adecuada cuando se valoran los servicios de apoyo y regulación. Para ello, la cantidad de carbono almacenado se convirtió el CO<sub>2</sub> equivalente cuyo valor es comercializado como bonos de carbono (1 bono de carbono es el equivalente a 1 tonelada de CO<sub>2</sub>) y cuyo precio es variable.

## **TRATAMIENTO DE DATOS**

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de las muestras de suelo y de vegetación se usó como factor de comparación los diferentes usos de la tierra y las profundidades consideradas. Como primer paso se obtuvo la estadística descriptiva que incluyó la media, la desviación estándar, valores mínimos y máximos, y la valoración de la normalidad. Posteriormente se realizó un análisis bi factorial (uso de la tierra x profundidad), la cual no mostró diferencias significativas, por lo cual se procedió a analizar el factor uso de la tierra, mediante el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey a un nivel de probabilidad de  $P \leq 0,05$ . Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa IBM SPSS Statistics, versión 22.

## RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

El equipo colaborador para la toma de muestras y levantamiento de información de campo, y el cargo de los profesionales que contribuyeron al desarrollo de este proyecto se detalla en la (Tabla. 1).

**Tabla 1.**

*Recursos Humanos.*

<b>Nombre y Apellido</b>	<b>Profesión</b>	<b>Cargo</b>
Danilo Sarabia Guevara	Ing. Agropecuario	Estudiante maestría
Carlos Bravo	PhD	Tutor
David Sancho	PhD	Cotutor
Gabriel Grefa		Asistente
Equipo colaborador en la toma de muestras y levantamiento de información en el campo, como suelo, hojarasca e inventario forestal.		
<b>Nombre y Apellido</b>	<b>Profesión</b>	<b>Cargo</b>
Sebastián Chávez	Estudiante de pregrado	
Jomira García	Estudiante de pregrado	
José Robalino	Estudiante de pregrado	
Rosa Andosilla	Estudiante de pregrado	
Denyce Grefa	Estudiante de pregrado	
Daysi Changoluisa	Ing. Agrónoma	Responsable del laboratorio de suelos

**Fuente:** Autor, 2022.



**Tabla 2.***Materiales para la toma de muestras en campo.*

Baldes pequeños, Cilindros, Piola, Cámara fotográfica, GPS, Cinta métrica, Clinómetro, Flexómetro, Cuadrante de hierro de 0,5 x 0,5m Fundas de alar	Lápiz, Libreta, Marcadores Machete, Palas, Podadora de mano, Papel aluminio, Toallas de cocina, Toma muestras de suelo Tipo Uhland Fundas ziploc
--	---

**Fuente:** Autor, 2022.**Tabla 3.***Equipos utilizados en los diferentes análisis.*

Agitador recíproco, Balanza analítica, Balanza electrónica, Campana extractora de gases, Destilador automático Kjeldahl	Espectrofotómetro de absorción atómica, Estufa, Mufla, Multiparametro de sobremesa, Plato calentador agitador magnético
---	---

**Fuente:** Autor, 2022.

**Tabla 4.**

*Materiales utilizados en los diferentes análisis del suelo.*

Anillos, Cilindros, Ligas y Liencillos, Balones aforados y Erlenmeyers, Bandejas, Crisoles y Pastillas magnéticas, Buretas, Probetas, Cucharetas, Pinzas	Desecador y Plato poroso, Dispensadores de reactivos, Pipetas y Picetas, Embudos plásticos y Tamices, Frascos de compota, Frascos pastilleros, Tubos de digestión, Tubos de ensayo, Vasos de precipitación, Vasos plásticos
---	--

**Fuente:** Autor, 2022.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4. 1 Caracterización de la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos bajo los usos de la tierra considerados.**

#### **4.1.1 Fertilidad Física del suelo bajo distintos usos de la tierra.**

La fertilidad física del suelo está asociada a la capacidad del suelo de brindar condiciones adecuadas en dos aspectos (Pla, 2010). El primero relacionado con la penetración y crecimiento de las raíces de las plantas y el segundo con la penetración, movimiento y retención de agua en el perfil del suelo. Ambos muy relevantes para que la planta pueda explorar un mayor volumen de suelo y aprovechar la disponibilidad de nutrientes (Taboada y Álvarez, 2008; Bravo et. al, 2021). La importancia de cada uno de esos factores determinantes de su fertilidad física puede cambiar según las condiciones del ambiente y el manejo del suelo en cada zona en particular (Taboada y Álvarez, 2008). En este trabajo la fertilidad física del suelo fue evaluada mediante diferentes parámetros o variables que incluyeron la distribución de tamaño de partículas (textura) y los índices estructurales (densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, distribución de tamaño de poros) las cuales se detallan a continuación.

##### **4.1.1.1. Distribución de tamaño de partículas (% Arena, % Limo y % Arcilla) en los diferentes usos de la tierra.**

Los resultados de la evaluación de campo de la textura del suelo para los distintos usos de la tierra y las profundidades consideradas se muestran en la Tabla 5. Se puede apreciar que para las tres zonas las clases texturales para las tres profundidades evaluadas se corresponden con texturas predominantemente medias (Franco, Franco limosa y Franca arenosa). Para la primera profundidad no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.005$ ) y los valores promedios del contenido de arena variaron entre 43% (SASP) y un 58.33 % en el uso del suelo con Bosque. El contenido de limo osciló entre 31 % (Bosque) y 43 % (SASP), mientras que el porcentaje de arcilla fue el tamaño de partícula con menor proporción con rango entre 8.50 (SSPM) y 14 % (SASP).

**Tabla 5.**

*Distribución de tamaño de partículas (% Arena, % Limo, % Arcilla) en diferentes usos de la tierra y profundidad.*

Usos del suelo	Profundidad 0-10 cm			
	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Caña de Azúcar (CA)	52.50 <b>a</b>	33.50 <b>a</b>	14.00 <b>a</b>	Fa
Sistema Agrosilvopastoril (SASP)	43.00 <b>a</b>	42.75 <b>a</b>	14.25 <b>a</b>	F
Sistema Silvopastoril Maderable (SSPM)	52.00 <b>a</b>	39.50 <b>a</b>	8.50 <b>a</b>	F
Bosque	58.33 <b>a</b>	31.33 <b>a</b>	10.33 <b>a</b>	Fa
Usos del suelo	Profundidad 10-20 cm			
	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Caña de Azúcar (CA)	51.00 <b>a</b>	38.50 <b>b</b>	10.50 <b>a</b>	F
Sistema Agrosilvopastoril (SASP)	33.50 <b>b</b>	51.75 <b>a</b>	14.75 <b>a</b>	FL
Sistema Silvopastoril Maderable (SSPM)	40.50 <b>ab</b>	48.00 <b>a</b>	11.50 <b>a</b>	F
Bosque	43.67 <b>ab</b>	45.33 <b>ab</b>	11.00 <b>a</b>	F
Usos del suelo	Profundidad 20-30 cm			
	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Caña de Azúcar (CA)	46.00 <b>a</b>	38.50 <b>b</b>	15.50 <b>a</b>	F
Sistema Agrosilvopastoril (SASP)	26.50 <b>c</b>	55.75 <b>a</b>	17.75 <b>a</b>	FL
Sistema Silvopastoril Maderable (SSPM)	37.00 <b>bc</b>	51.00 <b>a</b>	12.00 <b>a</b>	FL
Bosque	52.33 <b>a</b>	38.00 <b>b</b>	9.67 <b>a</b>	FL

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

Para las siguientes profundidades, si bien se registraron diferencias significativas ( $P < 0.005$ ) en las distintas proporciones de partículas, se puede apreciar un patrón de comportamiento en ambos horizontes donde predominan las clases texturales Francas y Franco Limosa, con mayores proporciones de arena y limo con respecto al contenido de arcilla.

La textura del suelo representa una variable muy importante ya que está relacionada con otros parámetros físicos, químicos y biológicos como por ejemplo la retención de humedad, la porosidad y el movimiento de agua en el suelo (Pla, 2010). Algunos autores han señalado que la textura de los suelos en la provincia de Pastaza es franco-arcillosa, predominando la

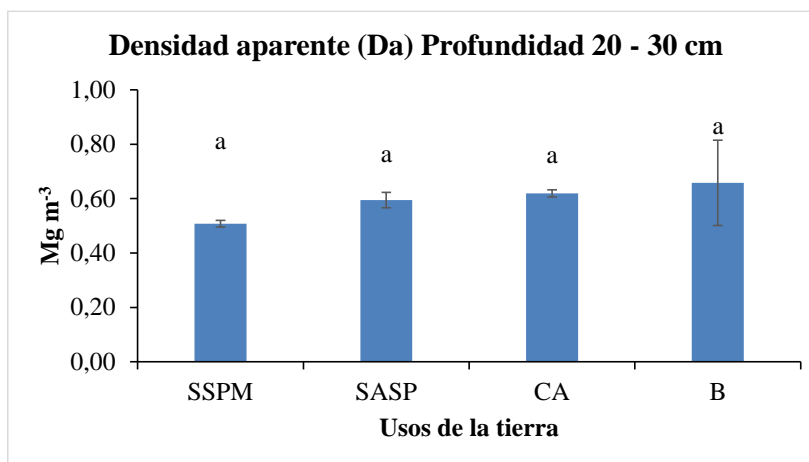
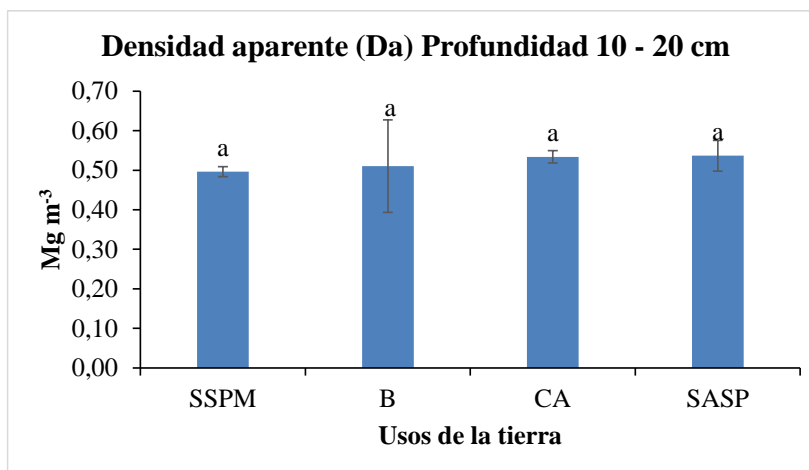
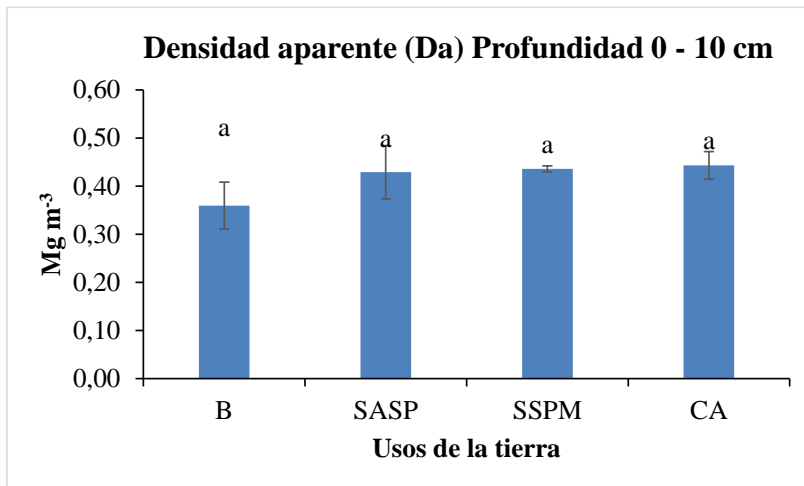
fracción limosa, que hace que esta fracción obstruya los poros del suelo, disminuya el contenido de aire y limite la respiración de las plantas por las raíces (Martín, 2009).

En los usos de la tierra evaluados y en especial los usos con bosques y caña de azúcar presentaron altos niveles de materia orgánica, la cual entre otras funciones sirve de agente cementante para formar agregados. Por tanto, estas diferencias suelen atribuirse a la formación de partículas del tamaño de las arenas (Pseudo arenas) resultando en un comportamiento textural diferente al medido en campo (Bravo, 2014). En términos prácticos, los resultados obtenidos en laboratorio definen en cierta manera el comportamiento físico del suelo en campo en cuanto a procesos relacionados con la aireación, permeabilidad y retención de humedad.

En la Amazonía ecuatoriana se puede encontrar una diversidad de suelos que se explica por la combinación que ocurre entre los materiales de partida y el clima; es así que podemos encontrar suelos de origen volcánico que se han formado en depósitos de cenizas y materiales volcánicos fragmentados, suelos que se forman cuando se cristaliza la arcilla y los que provienen de rocas sólidas (Maldonado, 2006).

#### **4.1.1.2 Densidad aparente del suelo (Da).**

Los parámetros físicos del suelo evaluados a través de los índices estructurales (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr) mostraron rangos categorizados adecuados para todos los usos del suelo sin diferencias significativas ( $P < 0.005$ ) entre los distintos uso de la tierra y las respectivas profundidades. En el caso de la densidad aparente (Da) (Figura 3), en el horizonte superficial el menor valor se obtuvo en el uso con **Bosque** ( $0.36 \text{ Mg m}^{-3}$ ), mientras que las mayores densidades aparentes se alcanzaron en el resto de los usos con rangos muy similares alrededor de Da,  $0.44 \text{ Mg m}^{-3}$ . El valor de dicha variable se incrementó con la profundidad indistintamente del uso del suelo, alcanzando valores cercanos a  $0,50 \text{ Mg m}^{-3}$  de 10 a 20 cm y entre  $0,51$  a  $0,66 \text{ Mg m}^{-3}$  en el horizonte de 20 a 30 cm. Es bien conocido que la densidad aparente tiene una fuerte influencia sobre el desarrollo de raíces, la resistencia a la penetración, el movimiento de agua, aire, nutrientes y su disponibilidad (Bravo et. al, 2017; Taboada y Álvarez, 2008; Martínez y Zinck, 2004), siendo una variable muy importante y de gran significado agrícola cuyos valores deben interpretarse en función de la clase textural.



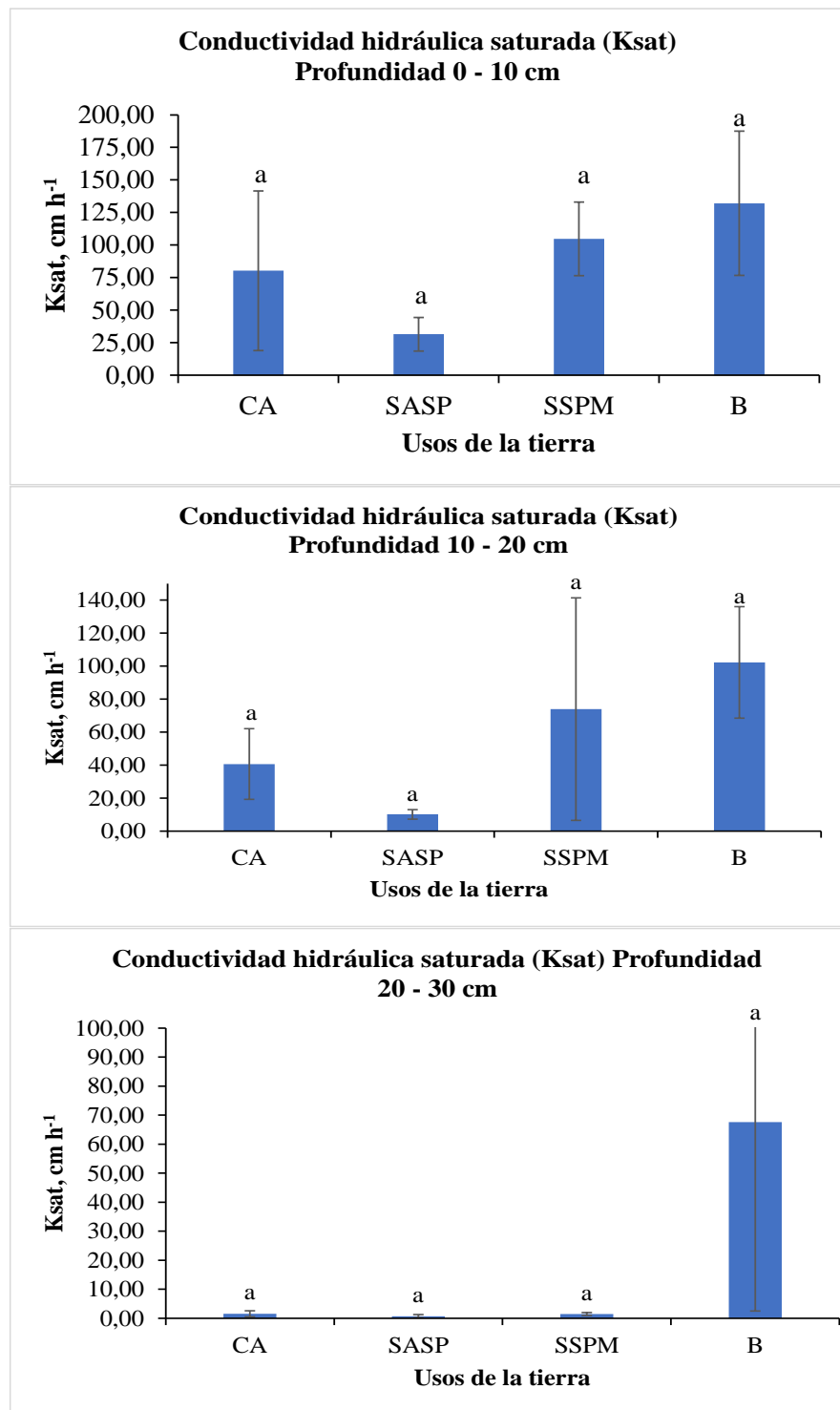
**Figura 3.** Densidad aparente del suelo (Da) bajo diferentes usos del suelo y tres profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ .*

Valores similares de densidad aparente para la zona han sido reportados por varios autores quienes indican que los bajos valores de dicha variable están asociados a los altos contenidos de materia orgánica presente en los ecosistemas amazónicos asociados al uso histórico con bosque (Bravo et al. 2017; Bravo et. al, 2021). Se ha señalado que el aumento de la densidad aparente  $D_a$ , incrementa la compactación y por tanto afecta las condiciones de retención de humedad y limita el desarrollo de las raíces (Salamanca et. al, 2005). Sin embargo, independientemente del uso y la profundidad los perfiles de la densidad aparente ( $D_a$ ) de estos suelos exhiben valores muy bajos y están por debajo del límite crítico de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$  señalado para suelos de textura media según Pla (2010), lo cual indica que no existe limitaciones para la penetración de las raíces beneficiando el aprovechamiento de nutrientes y agua en el suelo concordando con los resultados del presente estudio.

#### **4.1.1.3 Conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ).**

La conductividad hidráulica saturada es una variable de mucha importancia para determinar la capacidad que tiene el suelo de penetrar el agua, y dar soluciones a problemas que se relacionan con el drenaje, riego, y conservación; teniendo una estrecha relación con la porosidad (Barbecho y Calle, 2012; Chirinos y Mattiazzo, 2004). Al respecto, como se puede apreciar en la Figura 4, la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), asociada a la permeabilidad del suelo, fue alta en las tres profundidades y la mayoría de los usos de la tierra, muy por encima del límite crítico de  $0,5 \text{ cm.h}^{-1}$ , señalado por Pla (2010). Se puede apreciar para el horizonte superficial que los valores oscilaron entre  $32 \text{ cm h}^{-1}$  (**SASP**) a  $132,09 \text{ cm h}^{-1}$  (**Bosque**). Dicho comportamiento está relacionado con la condición textural y estructural que favorece la penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo (Bravo et. al, 2021). En general, cuando se analiza el comportamiento hidráulico del suelo, los mayores valores de  $K_{sat}$  se obtienen en los primeros 20 cm del suelo y va disminuyendo con la profundidad, hasta alcanzar cambios drásticos en el último horizonte en la mayoría de los usos del suelo con excepción del Bosque.



**Figura 4.** Conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) del suelo en diferentes usos de la tierra y tres profundidades de muestreo.

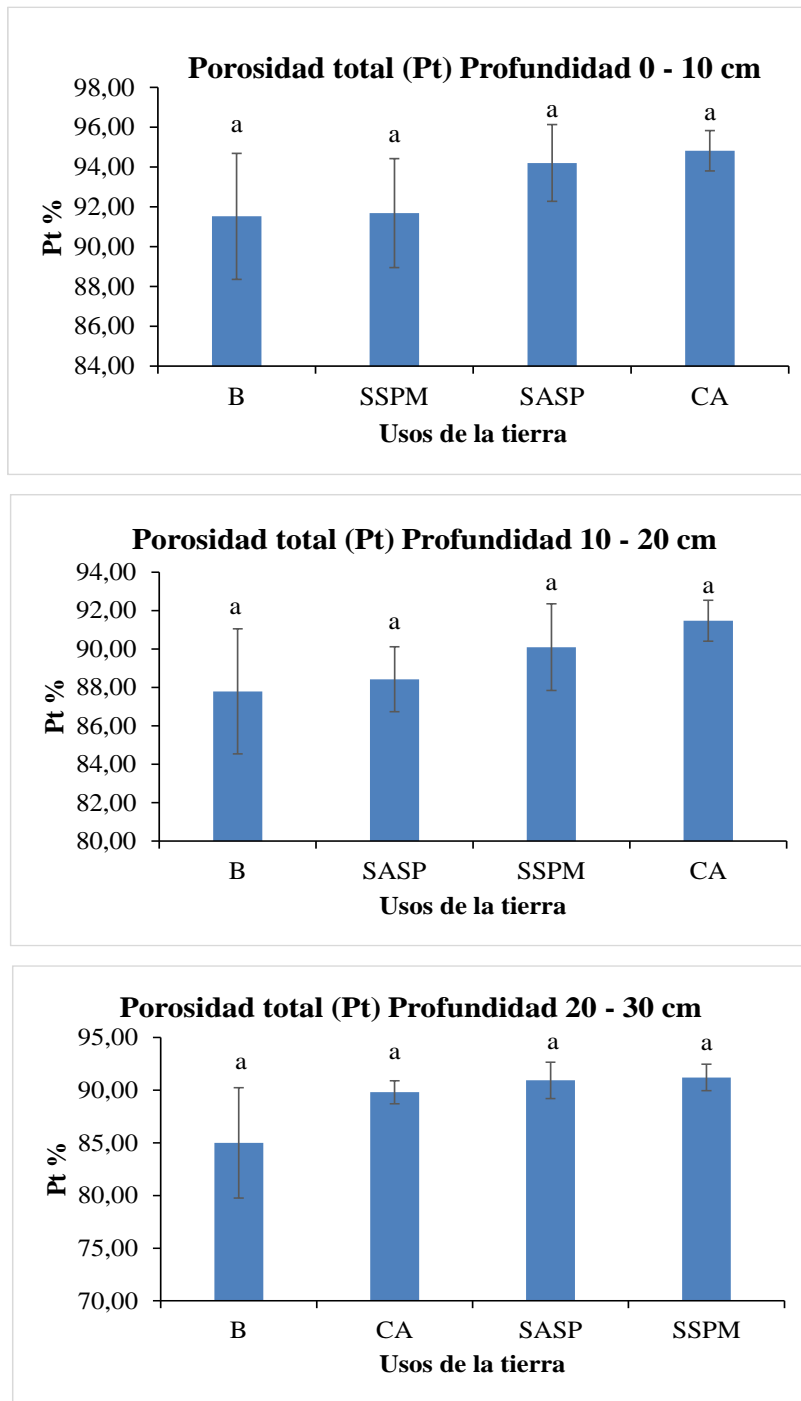
\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ .



Resultados similares han sido reportados por Bravo et. al, 2017, quienes señalan que estos cambios bruscos, pueden reducir la velocidad de infiltración del agua en el suelo, lo cual, en condiciones de alta precipitación con valores promedios de 3000 mm, común en esta zona de la región amazónica ecuatoriana, se generan altos volúmenes de agua superficial. Todo ello, dependiendo del uso de la tierra y protección del suelo se puede convertir en un detonante para activar procesos de erosión hídrica.

#### **4.1.1.4 Porosidad total (Pt).**

La porosidad total desempeña funciones importantes como transportar, absorber y almacenar agua en el suelo (González-Barrios et. al, 2011). Los análisis de porosidad total bajo distintos usos del suelo no presentaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . La porosidad total en el horizonte superficial osciló de 91,52 a 94,82 %, registrando menor porcentaje en el uso de suelo de bosque (B) (Figura 5). Para el resto de los horizontes la porosidad total fue muy similar, obteniéndose valores cercanos a 90 %. Tales resultados están muy por encima del valor de 45 % señalado como crítico y donde se pueden evidenciar que independientemente del uso de la tierra no existen problemas de aireación. Cabe destacar, que los valores de la porosidad total obtenidos estuvieron muy relacionados con la densidad aparente, sugiriendo que una menor densidad significó mayor porosidad total (Pt). La estructura del suelo comprende la forma, grado y tamaño de los agregados. Dicha estructura afecta a la porosidad por consiguiente al crecimiento de las raíces, la capacidad de retención y disponibilidad del agua (Martínez et. al, 2008). Valores menores al 50% de la porosidad total, conlleva a problemas con el suministro de agua, drenaje y transporte de nutrientes hacia las plantas (Volverás et. al, 2016).

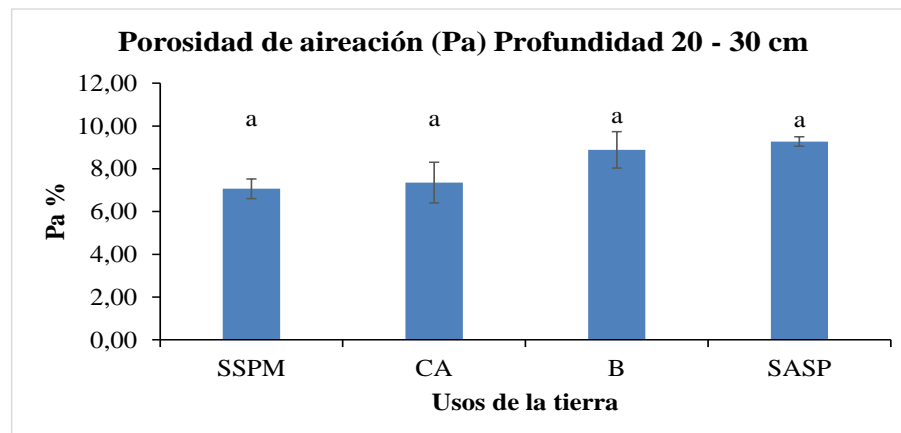
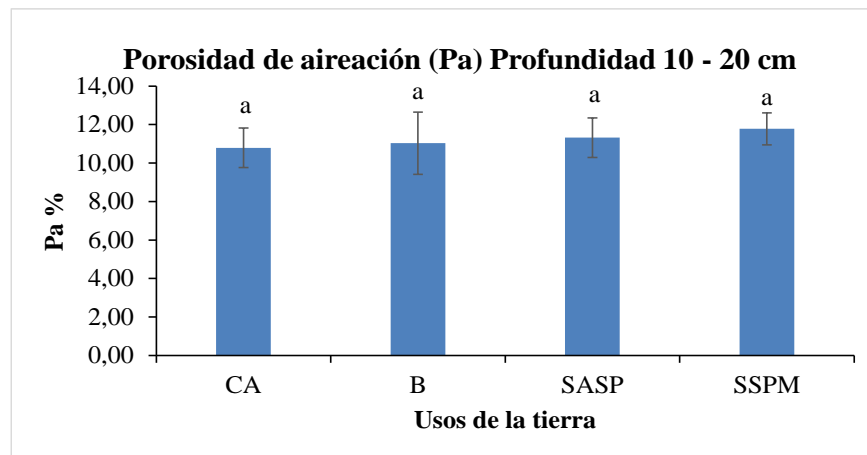
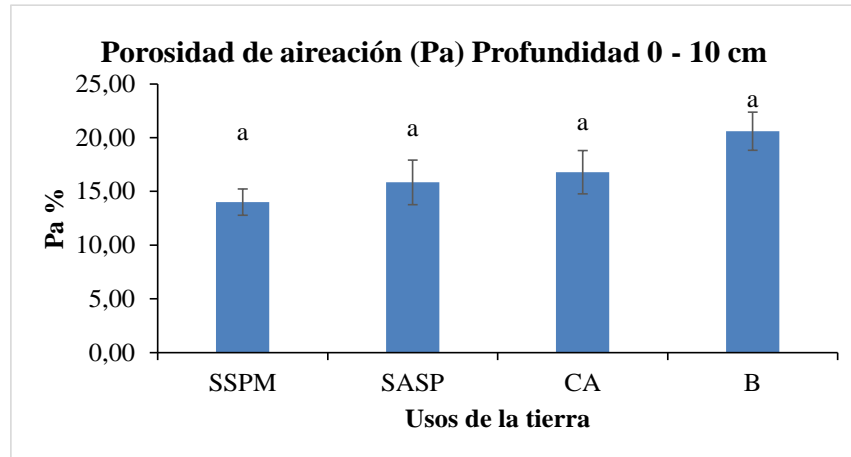


**Figura 5.** Valores promedios de porosidad total (Pt) del suelo bajo diferentes usos del suelo y tres profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

#### **4.1.1.5. Porosidad de aireación (Pa).**

La relación genérica entre las propiedades del suelo y la materia orgánica se expresan en que un aumento de la fracción orgánica mejora la agregación y la porosidad del suelo. Por ello, el estado de aireación del suelo constituye uno de los factores más importantes que influyen en crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas (Taboada y Álvarez, 2008). Los macroporos cumplen funciones de drenaje y de aireación por tanto el oxígeno que circula por estos poros juega un rol fundamental para el funcionamiento vegetal. En este contexto, al observar la distribución de tamaño de poros (Figura 6) se puede apreciar que la porosidad de aireación no presentó diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$  entre los usos de la tierra y para ninguna profundidad. En la presente investigación los valores del horizonte superficial variaron de 14 (SSPM) a 21 % (Bosque) estando por encima del umbral de 10% sugiriendo que no existen problemas de drenaje y de aireación (Pla ,2010). La porosidad de aireación disminuye con la profundidad alcanzando niveles cercanos al 11 % en la mayoría de los usos de la tierra a los 20 cm de profundidad, mientras que el horizonte de 20 a 30 cm se observan valores por debajo del umbral de 10 %, en todos los usos, lo cual puede representar serias limitaciones al flujo de agua, de aire, a la actividad biológica y a la penetración de raíces (Shiguango y Zambrano (2018; Florentino, 1998; Pla, 2010; Da Silva et. al, 2003). De igual manera Según López y Galantini (2016), los valores superiores al 10% indican una adecuada porosidad de aireación, permitiendo un buen almacenaje, aireación y drenaje de agua, asegurando el desarrollo de los cultivos ya que permite el crecimiento normal de raíces.

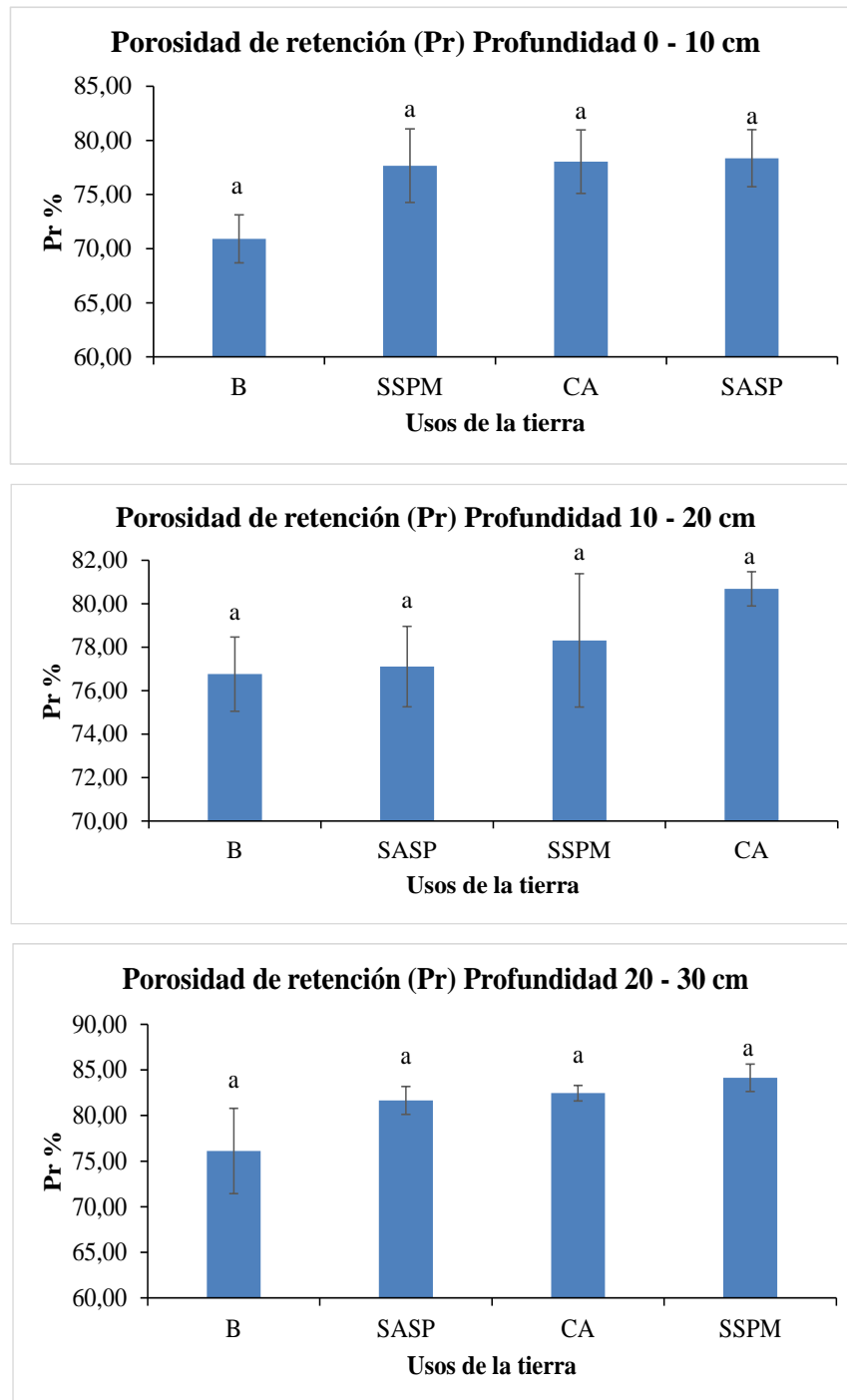


**Figura 6.** Valores promedios de porosidad de aireación del suelo (Pa) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

#### **4.1.1.6. Porosidad de retención (Pr).**

La porosidad de retención es la capacidad que tiene el suelo para poder retener el agua en las profundidades durante periodos prolongados, por la existencia de macro y micro poros (Gutiérrez-Castorena et. al, 2011). Los análisis de porosidad de retención Pr, indican mayor proporción de la distribución total de poros con valores más altos en las capas más profundas. Para esta variable no se observaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$  y en las tres profundidades de muestreo, se mantuvieron en un rango de 70,91% a 84,14%, indistintamente del uso de la tierra. Tales resultados, sugieren que independientemente del uso de la tierra los suelos tienen una alta capacidad de retener agua. Al respecto, se ha señalado que el valor de esta variable no debe ser menor del 25%, Pla (2010). Los resultados obtenidos concuerdan con Bravo et. Al, (2017b) quienes mencionan que la alta retención junto a la adecuada macro porosidad permite el flujo y la retención, minimizando el volumen de agua que potencialmente puede generar problemas de erosión. La presencia de mayor cantidad de micro poros favorecen la retención de humedad el cual es potenciado por la falta de perturbación del suelo y disminución del proceso de evaporación como un resultado del uso de coberturas (Bravo et. al, 2004).



**Figura 7.** Valores promedios de porosidad de retención del suelo (Pa) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

Como ha sido señalado los índices estructurales como la densidad aparente (Da), porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pa), porosidad de retención (Pr), conductividad hidráulica saturada (Ksat), ayudan a caracterizar distintos procesos en el suelo, entre ellos la compactación, aireación, infiltración los cuales pueden ser afectados por cambios en el uso de la tierra, sin embargo la fertilidad física en estos suelos refleja una adecuada condición estructural que puede favorecer el desarrollo de raíces y un adecuado balance del contenido de humedad del suelo que a su vez puede favorecer la absorción de nutrientes (Bravo et. al, 2021; Mcgrath et. al, 2014; Lozano et. al, 2012).

#### **4.1.2 Fertilidad química del suelo en distintos usos de la tierra.**

Los suelos amazónicos son pobres en nutrientes y poseen un bajo contenido nutricional (Moragas, 2008), la mayoría de los suelos de la región corresponde al orden Inceptisoles, estos suelos se caracterizan por poseer una baja fertilidad, alta acidez y toxicidad causadas por el aluminio, deficiencia de fósforo (Martín, 2009), calcio y potasio (Moragas, 2008), además de problemas físicos, estructura no definida y alta saturación de humedad, lo que provoca una gran acumulación de materia orgánica de baja calidad (Martín, 2009). Sin embargo, en estos suelos crece una exuberante vegetación, lo que ha llegado a confundir a muchos, porque se asume, que debajo de esta vegetación existen suelos fértiles. Este bajo contenido de nutrientes se debe principalmente a las altas temperaturas y precipitaciones, y a la historia geológica de la región, como la intensa meteorización y lixiviación (Moragas, 2008).

Los parámetros químicos en los distintos usos de tierra fue evaluada a través de las variables pH: Potencial de hidrógeno; MO: Materia orgánica; NT: Nitrógeno Total; P: Fósforo disponible;  $k^{+1}$ : Potasio intercambiable;  $Ca^{+2}$ : Calcio intercambiable;  $Mg^{+2}$ : Magnesio intercambiable y Azufre S.

##### **4.1.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH).**

Ibarra-Castillo et. Al, (2009), mencionan que el pH es una medida de acidez o alcalinidad que interfiere en muchas de las actividades químicas y biológicas, valores extremos pueden afectar la fertilidad del suelo, se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, la presencia de microorganismos y de elementos tóxicos, concordando con Bravo et. al, (2015).

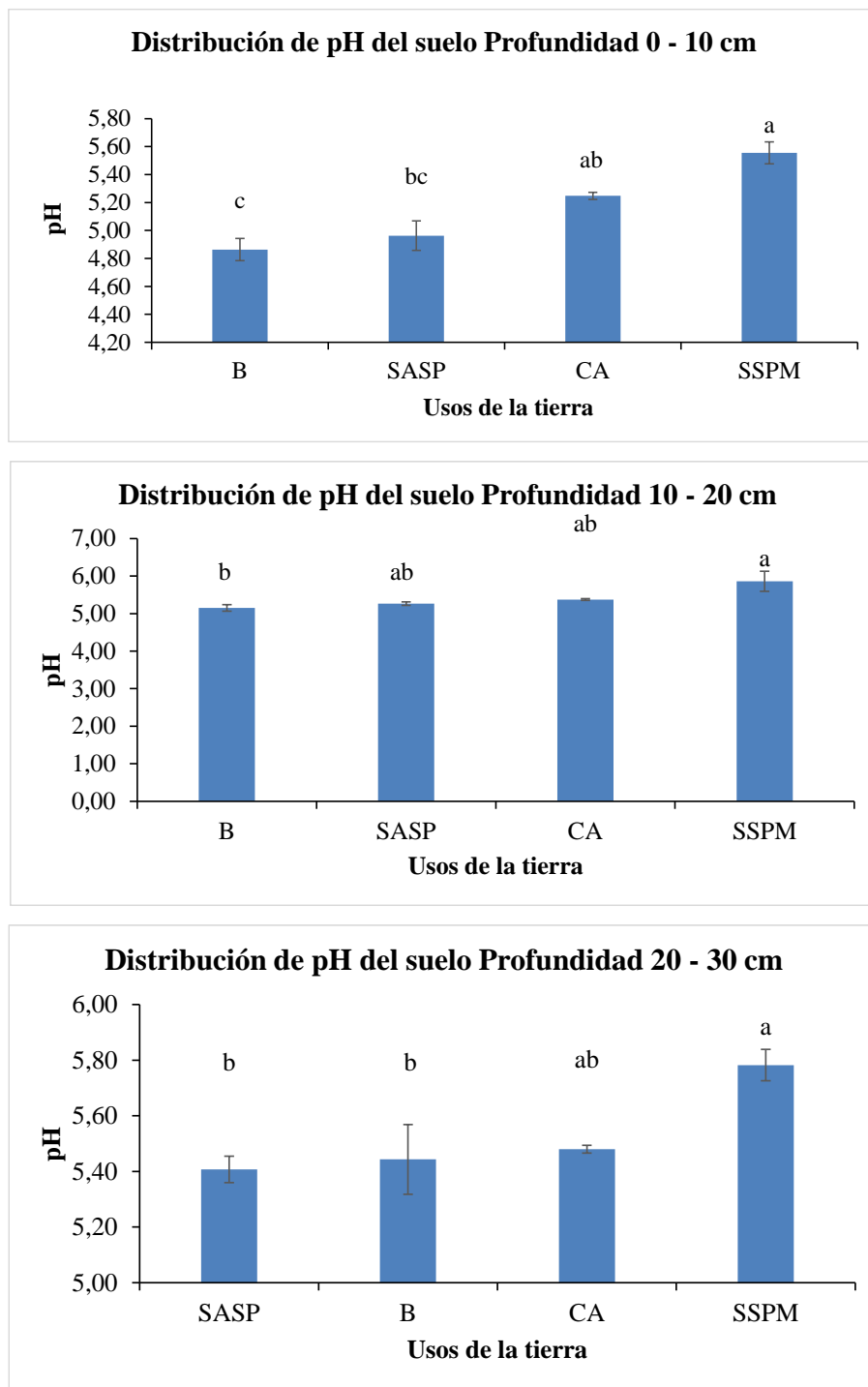
Los resultados de esta variable denotan diferencias significativas para los usos de la tierra en sus tres profundidades de muestreo con valores promedio de pH que oscilan entre 4,86 a 5,86 en el uso del suelo con Bosque a profundidad de muestreo de 0 a 10 centímetros y en el uso del suelo en el Sistema Silvopastoril a profundidad de muestreo de 10 a 20 centímetros, respectivamente.

Independientemente del uso de la tierra se muestra que en la capa superficial los rangos de pH son menores (Figura 8) y tienden a aumentar con la profundidad. Según Bravo et. al, (2015) y Wei et. al, (2006), se debe a la descomposición de los residuos en la superficie, formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del  $\text{NH}_4^+$  proveniente del material fresco (heces y orina). En adición Aguilera (2000) manifiesta que la MO afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo.

De igual manera a una profundidad de muestreo de 10 - 20 cm, existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , se observan valores promedios de pH de 5,38 en uso de la tierra con el cultivo de Caña, 5,15 en el uso del suelo con Bosque, 5,27 en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril y 5,86 en el Sistema Silvopastoril.

Particularidad que se repite a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, manteniendo el carácter de ácido donde también existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , se aprecia valores promedios de pH de 5,48 en uso de la tierra con el cultivo de Caña, 5,44 en el uso del suelo con Bosque, 5,41 en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril y 5,78 en el Sistema Silvopastoril.





**Figura 8.** Valores promedios de potencial hidrogeno (pH) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

Los suelos de la amazonia tienen una elevada acidez, estudios anteriores han determinado que en estos casos ocasiona, condiciones que puede deprimir el crecimiento por uno o varios factores, razón por la cual, los suelos ácidos afectan de diversas maneras el crecimiento de la planta. Como consecuencia de elevados niveles de acidez tenemos que la concentración de los elementos como Al, Fe y Mn podrían llegar a niveles tóxicos, principalmente altas concentraciones de Al son sin duda el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos con pH inferiores a 5.5. Además de presentarse deficiencias de Ca y Mg, se reduce la disponibilidad de P, y Mo a la vez que favorece la lixiviación del K. En suelos arcillosos muy ácidos existe una baja permeabilidad y aireación (IPNI, 1997).

#### **4.1.2.2 Materia Orgánica (MO).**

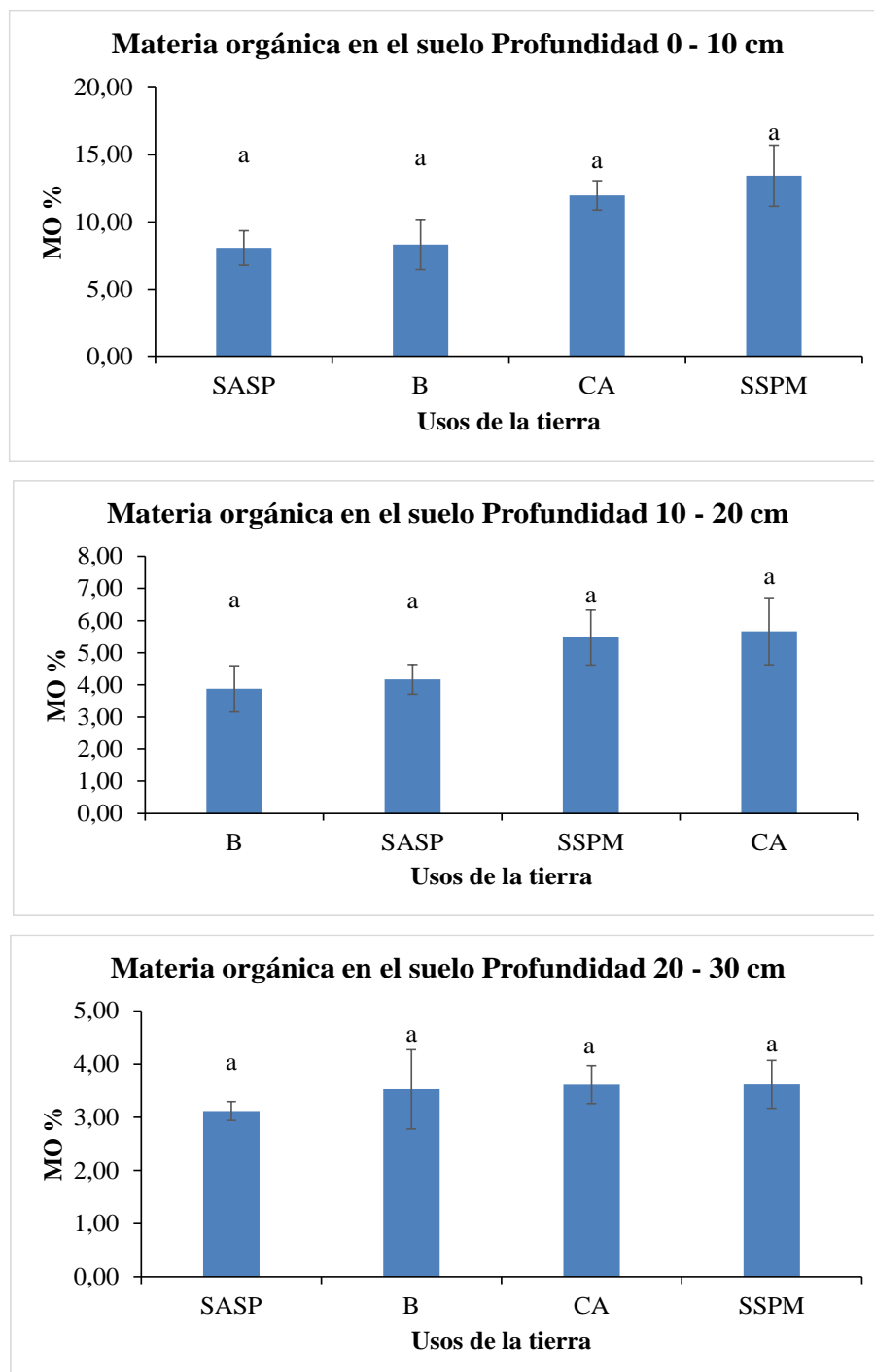
La materia orgánica del suelo (MO) esta constituida por una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Galantini, 2002; Aguilera, 2000). Para Simpson et. al, (2007), las sustancias húmicas son el material orgánico más abundante del medio terrestre y el principal componente de la MO representando por lo menos el 50% de ésta.

En los analisis obtenidos no se observa diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , ya que indistintamente del uso de la tierra, se aprecian valores altos, en las dos profundidades de muestreo con mayor valor en la superficie (Figura 9). Para la profundidad (0-10 cm) presenta valores entre 8,06% a 13,44%, que se categorizan como altos  $>5\%$  de acuerdo al Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

De igual manera se observa el contenido de materia organica a una profundidad de muestreo de 10 a 20 cm, con un porcentaje que va de 3,88% en uso de la tierra con bosque al 5,67% en uso de la tierra con el cultivo de caña, categorizado como medio.

A una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , similar a los datos de las dos profundidades anteriores, los valores promedios de materia orgánica (MO) fluctúan de 3,62 % en uso de la tierra con el cultivo de Caña, 3,53 % en el

uso del suelo con Bosque, 3,12 % en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril y 3,62 % en el Sistema Silvopastoril.



**Figura 9.** Valores promedios de materia orgánica (MO) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.

De forma general la materia orgánica en las áreas de estudio se presentaron con valores elevados, esto hace que altos valores de la MO es deseable en los agroecosistemas al igual que en la producción de cultivos y en la reducción de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, su acumulación depende básicamente de restos de vegetales y animales (Núñez et. al, 2011).

La materia orgánica es la suma de todo material orgánico de origen vegetal y animal que se encuentra en la superficie del suelo y se descompone por acción de los microorganismos para ser aprovechado, permitiendo mejorar muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo que favorecen el crecimiento de plantas y la actividad biológica hasta los 30 centímetros profundidad (Díaz, 2016).

#### **4.1.2.3 Nitrógeno Total (NT mg/kg).**

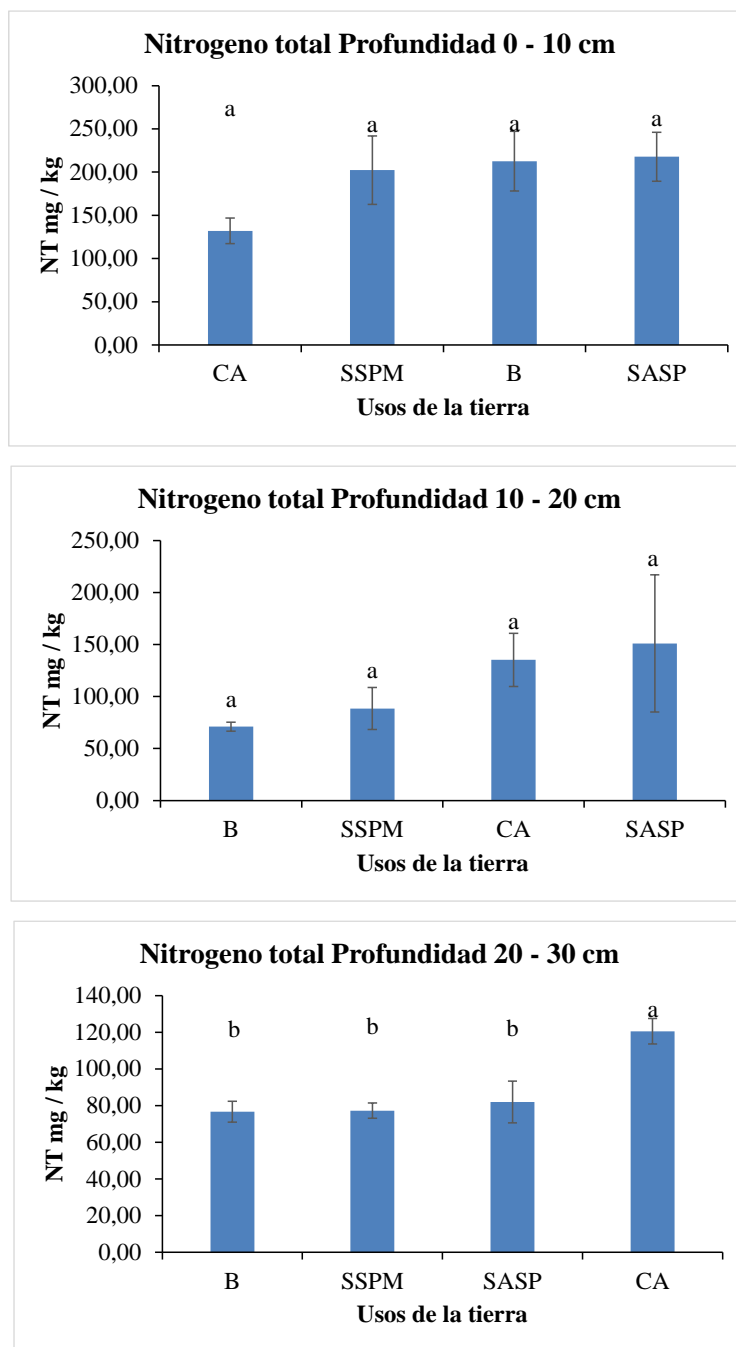
Rincón et. al, (2012) manifiesta que el nitrógeno proviene de la descomposición de la materia orgánica por parte de los macro y microorganismos, uno de los factores que influyen en el porcentaje de nitrógeno es el clima. Además es considerado como un elemento muy importante en el ámbito ambiental ya que actúa en la composición de las proteínas y clorofila de las plantas (Díaz, 2016).

Los valores de nitrógeno total, no presentaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , en las dos primeras profundidades de muestreo (Figuras 10). Sin embargo indiferentemente del uso de suelo según el rango de interpretación para el nitrógeno nos indican que para la profundidad (0 - 10 cm), presentan valores de 132,00 mg/kg a 217,75 mg/kg, categorizados como altos, en comparación al Anexo 2, que establece Bertsh (1995).

El contenido de nitrógeno total va disminuyeron con respecto a la profundidad de muestreo, presentando valores categorizados como medios en la profundidad 10 - 20 cm, observando entre 71,00 mg/kg y 151,00 mg/kg de nitrógeno total, en el uso de la tierra con Bosque y en el uso de la tierra con Sistema Agrosilvopastoril, resultados que concuerdan con la cantidad de materia orgánica en cada uso.

Mientras tanto a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , se aprecia valores promedios de nitrógeno total NT de 120,50 mg/kg, en el uso de la tierra con el cultivo de Caña, 76,67 mg/kg en el uso del suelo con Bosque, 82,00 mg/kg en

el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril y 77,25 mg/kg en el Sistema Silvopastoril, todos los valores considerados como altos.



**Figura 10.** Valores promedios de nitrógeno total (NT) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

La materia orgánica es considerada la principal fuente de nitrógeno y el mismo constituye un elemento esencial para las plantas y los microorganismos en el suelo, generalmente más del 95% del nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica (Casanova, 2005).

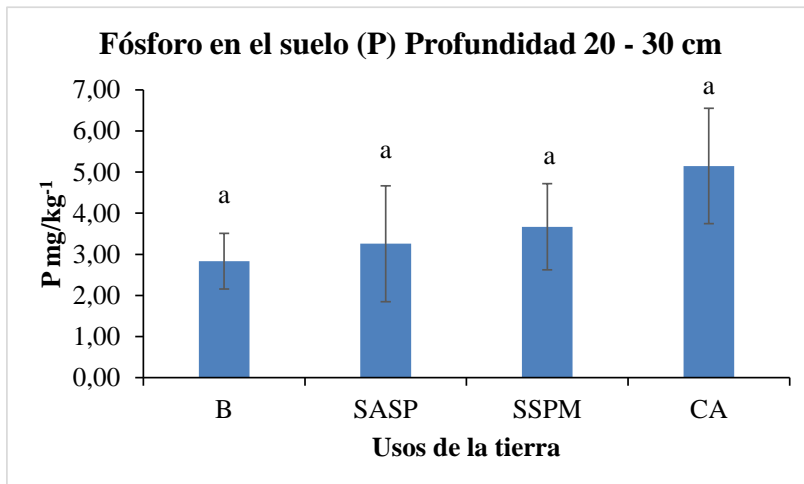
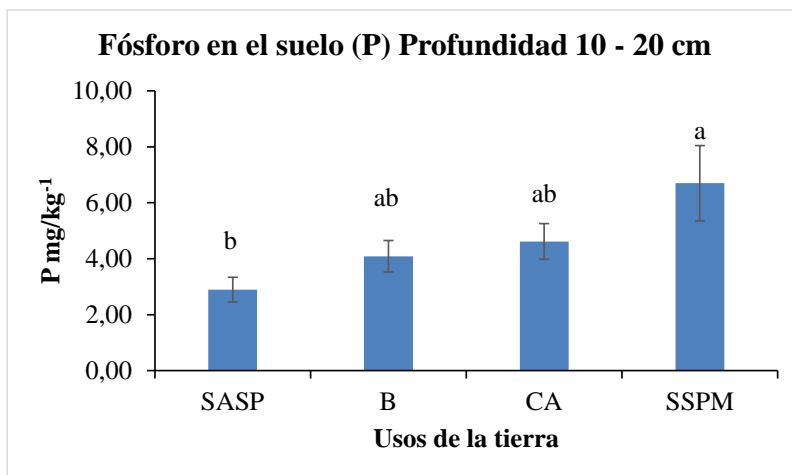
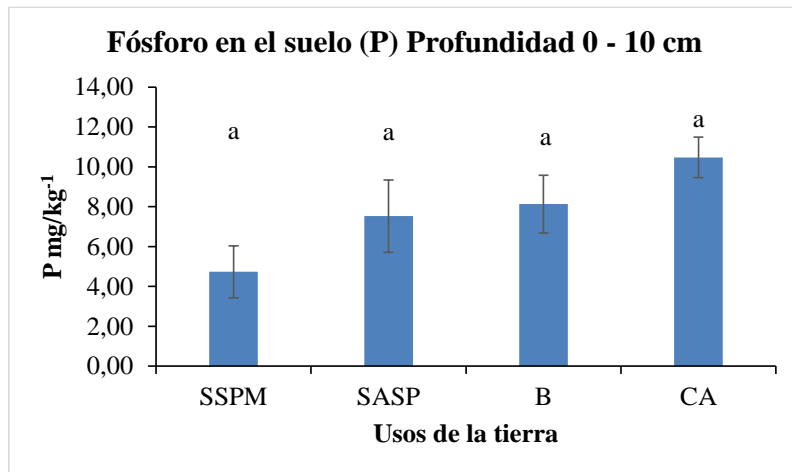
#### **4.1.2.4 Contenido Fósforo disponible (P, mg/kg<sup>-1</sup>).**

El fósforo es considerado como uno de los elementos de mayor importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, es uno de los responsables de la transferencia y acumulación de energía. Este elemento se transfiere a la planta en pequeñas cantidades mediante el contacto con la superficie radicular permitiéndole un crecimiento normal (Fernández y Rodríguez, 2006).

Al analizar el fósforo disponible del suelo se observó que no existe diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , en primera y tercera profundidad de muestreo, resultando con mayor contenido en el uso de suelo con el cultivo de caña 10,48 mg/kg (Figura 11) considerado un valor medio, en comparación con los otros usos de suelo a una profundidad de 0 - 10 cm. En el uso de la tierra con el Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 4,74 mg/kg, mientras que en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril se evidenció un valor de 7,53 mg/kg y en el uso del suelo con Bosque un valor promedio de 8,13 mg/kg, estos tres últimos valores considerados bajos según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

Independientemente de la profundidad de muestreo y el uso de la tierra, los valores promedio de fósforo disminuyen con la profundidad, concordando con lo establecido por Lozano et al. (2010), lo cual está relacionado con la descomposición de residuos en la superficie y la naturaleza del elemento, que es poco móvil, es así que se puede observar en la misma (Figura 11) que en el uso con el Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 6,70 mg/kg, en el uso de la tierra con el Sistema Agrosilvopastoril, se observó un valor de 2,90 mg/kg, en el uso del suelo con el cultivo de caña presentó valores promedio de 4,62 mg/kg y en el uso del suelo con Bosque un valor de 4,09 mg/kg, todos estos valores considerados bajos según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

Concordante con los valores obtenidos anteriormente, a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , en el uso de la tierra con el Sistema Silvopastoril presento un valor promedio de 3,67 mg/kg, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril presento un valor de 3,26 mg/kg, en el uso del suelo con el cultivo de caña presentó valores promedio de 5,15 mg/kg y en el uso del suelo con Bosque un valor de 2,83 mg/kg, todos estos valores considerados bajos similar al muestreo anterior.



**Figura 11.** Valores promedios de fósforo disponible (P) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*



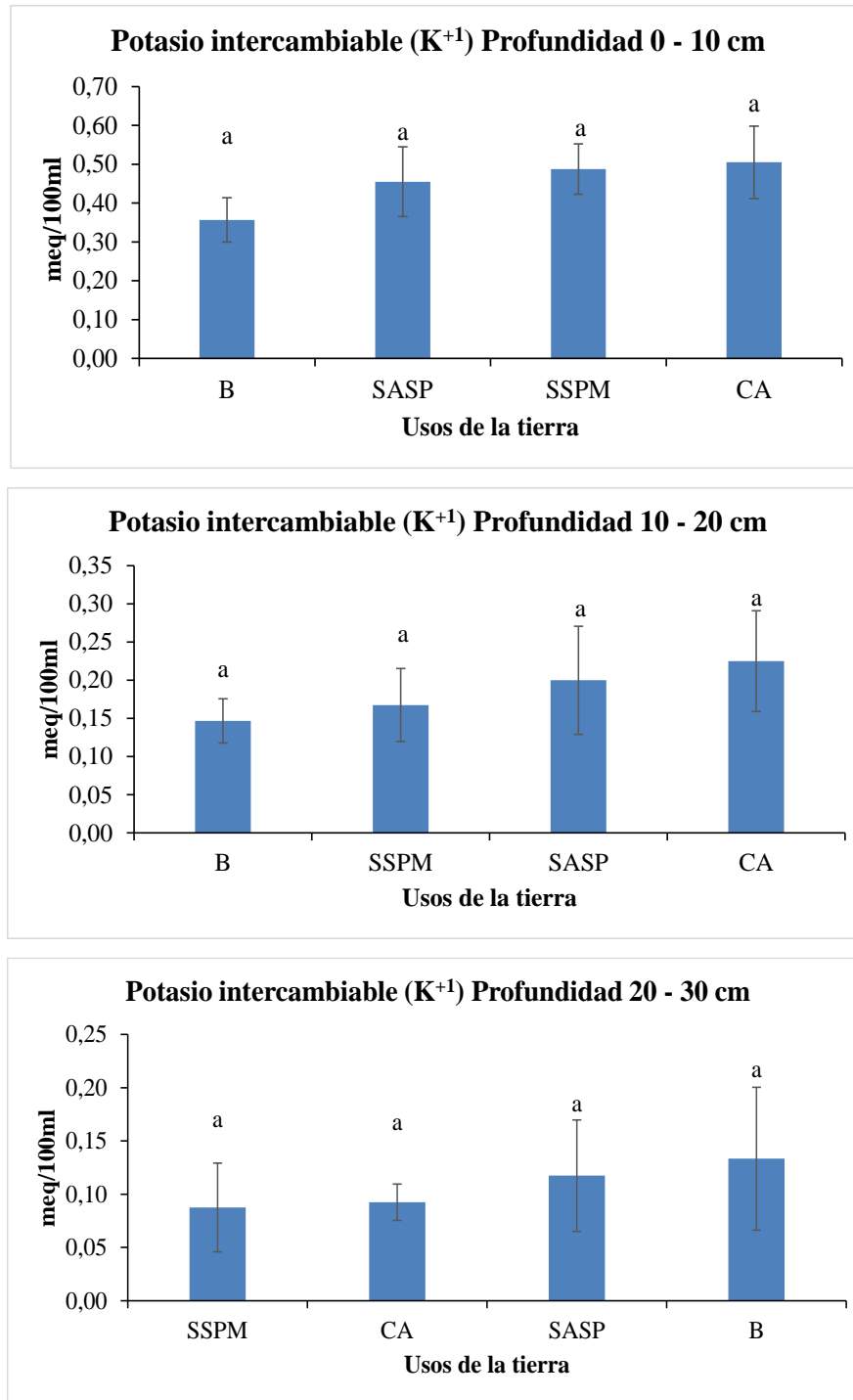
Los principales reservorios del carbono y el nitrógeno están en la atmósfera, mientras que del fósforo está en el suelo, por tanto, la principal fuente es la meteorización del material parental (Casanova, 2005). A excepción del contenido de fósforo a profundidad de 0 - 10 cm en el uso de suelo con el cultivo de caña, se observan valores promedio bajos de fósforo en cada profundidad y uso de la tierra evaluado, se puede inferir que los materiales parentales de donde proceden estos suelos son bajos en fósforo, es decir a mayor cantidad de materia orgánica aumenta los niveles de fósforo en el suelo, que a su vez es usado por los cultivos impidiendo acumularse. El suelo requiere de cantidades altas de fósforo para el fortalecimiento de las raíces y el óptimo crecimiento de las plantas (Casanova, 2005).

#### **4.1.2.5 Contenido de Potasio Intercambiable ( $K^{+1}$ , meq/100ml).**

El potasio al igual que el nitrógeno y el fósforo es uno de los tres macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y su contenido en el suelo puede ser variable (Conti, 2002). En los resultados obtenidos de la cantidad promedio de potasio, no se observaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , a una profundidad de muestreo de 0 - 10 cm, apreciando que, en los cuatro usos de la tierra, se observan valores promedio altos (Figura 12), existiendo valores desde el más alto 0,51 meq/100ml, al más bajo de 0,36 meq/100ml, mismos categorizados como alto  $>0,38$  meq/100ml, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

En la profundidad de muestreo de 10 - 20 cm, el comportamiento del contenido de (K), se mantiene, presentando contenidos que oscilan entre 0,15 y 0,23 meq/100ml, en el uso de suelo con bosque y en el uso de suelo con el cultivo de caña.

Es así que a la profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , se aprecia valores promedios de potasio de 0,09 meq/100ml en uso de la tierra con el cultivo de Caña, 0,13 meq/100ml en el uso del suelo con Bosque, 0,12 meq/100ml en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril y 0,09 meq/100ml en el Sistema Silvopastoril, todos los valores considerados como bajos, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).



**Figura 12.** Valores promedios de potasio intercambiable (K) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

La cantidad de potasio en la superficie del suelo puede estar relacionados con la descomposición de la materia orgánica, concordando con Razz et. al, (2006) que manifiestan que la presencia de árboles en los potreros aumenta la cantidad de materia orgánica, favoreciendo el microclima y la actividad biológica de macro y microorganismos en el suelo, contribuyendo con la mineralización, movilidad y disponibilidad de algunos elementos (N, P, K) hacia los árboles.

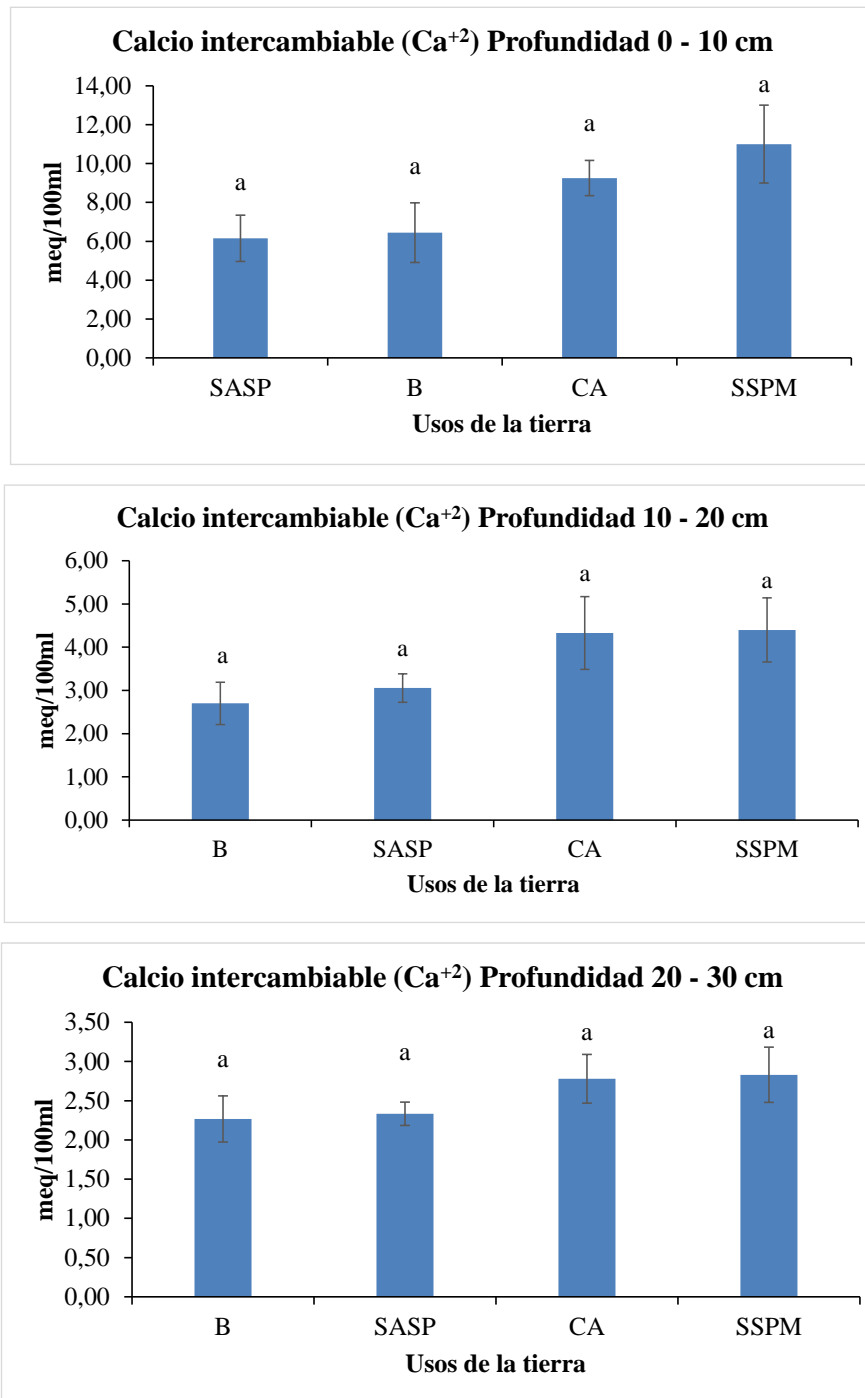
#### **4.1.2.6 Disponibilidad de Calcio Intercambiable ( $\text{Ca}^{+2}$ meq/100ml).**

El calcio al igual que otros elementos es de gran importancia para las plantas, algunos estudios demuestran que es abundante en la mayoría de los suelos, a excepción de los suelos ácidos donde se encuentra en menor cantidad, Rincón y Gallardo (2003).

Al analizar el calcio intercambiable no se observaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , para la profundidad de muestreo de 0 - 10 cm, con valores que oscilan entre 6,16 a 11,00 meq/100ml, (Figura 13) valores que se categorizan como altos  $>5$  meq/100ml, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

Sin embargo; este elemento disminuye a una profundidad de muestreo de 10 - 20 cm, a valores considerados medios, mostrando una secuencia de acuerdo al uso de la tierra. Para el Sistema Silvopastoril mostró un valor promedio de 4,40 meq/100ml, seguido por en el uso con el cultivo de caña de azúcar con 4,33 meq/100ml, luego el Sistema Agrosilvopastoril con un promedio de 3,06 meq/100ml, y finalmente el uso con Bosque un valor de 2,70 meq/100ml, sin diferencias significativas a un nivel de ( $P \leq 0,05$ ).

En concordancia con lo mencionado, este elemento disminuye considerablemente a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, a valores considerados medios, en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril se observaron valores promedio de 2,83 meq/100ml, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril existió un valor promedio de 2,33 meq/100ml, en el uso del suelo con el cultivo de caña presentó valores promedio de 2,78 meq/100ml y en el uso del suelo con Bosque un valor de 2,27 meq/100ml, no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ .



**Figura 13.** Valores promedios de calcio intercambiable (Ca) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

Los resultados obtenidos concuerdan con, Bravo et. al, (2017) donde manifiesta que a profundidades superficiales la concentración de calcio es mayor y disminuye progresivamente con la profundidad, esto puede variar en función del tipo de roca o material parental que da origen al suelo, Bravo et. al, (2017).

El calcio tiene una relación directa con el pH del suelo en este estudio, los diferentes usos de la tierra observamos valores de pH, ácido y muy ácido, deduciendo que no son óptimos para el crecimiento de plantas. La alta presencia de cationes ácidos en la función de intercambio como el aluminio y el hidrógeno hacen que las bases intercambiables como el Ca sean desplazadas y lavadas disminuyendo su disponibilidad (Díaz, 2016).

#### **4.1.2.7 Contenido de Magnesio Intercambiable ( $Mg^{+2}$ , meq/100ml).**

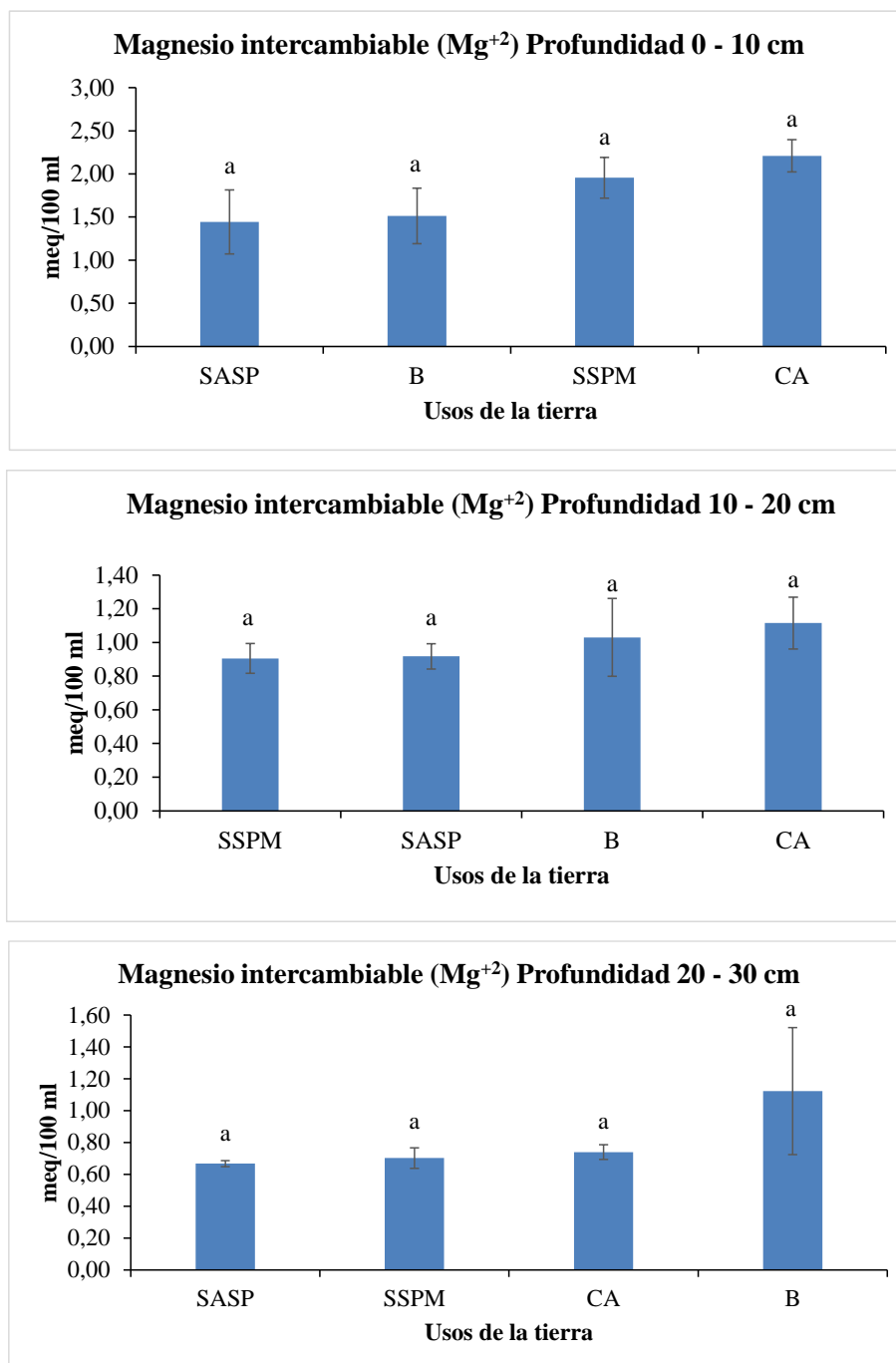
El magnesio es un compuesto que puede constituirse en tres formas, en el intercambio de catión, como constituyente de minerales y muy soluble en el suelo, Sadeghian (2012). En suelos ácidos la presencia de este elemento es muy baja, los valores varían dependiendo de factores como la humedad y la precipitación que es muy marcada en las regiones húmedas (García-Ávila et. al, 2015). Este elemento es de vital importancia para el crecimiento óptimo de las plantas ya que actúan en la fotosíntesis y en la clorofila dándole el color verde, a la vez puede limitar la producción de un cultivo (Díaz, 2016).

Los resultados obtenidos producto del análisis del magnesio intercambiable, muestran un comportamiento similar al calcio intercambiable (Figura 14), donde no existen diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , a una profundidad de muestreo de 0 - 10 cm, en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 1,96 meq/100ml, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril se observó un valor de 1,44 meq/100ml, en el uso del suelo con el cultivo de caña existió un valor promedio de 2,21 meq/100ml y en el uso del suelo con Bosque un valor de 1,51 meq/100ml, considerados valores medios, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

Los contenidos de magnesio en el horizonte superficial se categorizan como alto, destacándose el uso con el cultivo de caña, el mayor contenido de Mg 2,21 meq/100ml.

Mientras que a una profundidad de muestreo de 10 - 20 cm, se puede observar que los valores de magnesio en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 0,91 meq/100ml, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril un valor de 0,92 meq/100ml, de igual manera en el uso del suelo con el cultivo de caña presentó valores promedio de 1,12 meq/100ml y en el uso del suelo con Bosque un valor de 1,03 meq/100ml, considerados valores medios, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

Al igual que con el elemento calcio, este elemento disminuye considerablemente a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, a valores considerados medios, en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril existió un valor promedio de 0,70 meq/100ml, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril presentó un valor de 0,67 meq/100ml, en el uso del suelo con el cultivo de caña presentó valores promedio de 0,74 meq/100ml y en el uso del suelo con Bosque un valor de 1,12 meq/100ml, una vez analizado los datos no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ , comportandose cantidades promedio, similares a la profundidad de muestreo anterior, considerados valores medios, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).



**Figura 14.** Valores promedios de magnesio intercambiable (Mg) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

La disponibilidad y absorción del azufre está afectado por varios factores: el pH, temperatura y la disponibilidad de otras bases (K, Ca y Al). En condiciones Amazónicas la magnitud de lixiviación de estas bases cambiabiles está muy marcada por las características climáticas predominantes de alta precipitación (Díaz, 2016).

#### **4.1.2.8 Contenido de Azufre (S mg/kg<sup>-1</sup>).**

El azufre (S) es considerado un elemento esencial para la nutrición de las plantas (Epstein y Bloom, 2004). La concentración de S en los tejidos es similar a la del fósforo, situación que lo ubica como el cuarto elemento después del nitrógeno, el fósforo y el potasio (González, 2003, Guerrero, 2002).

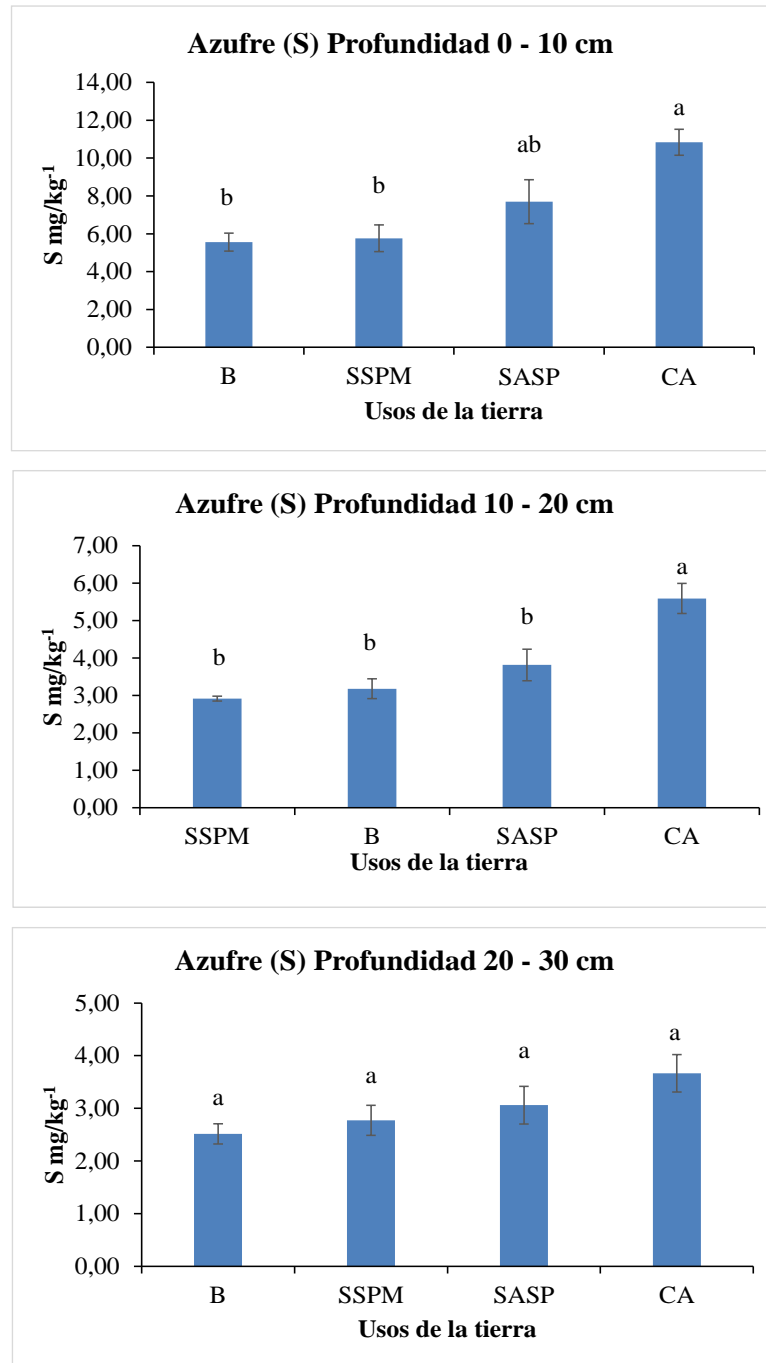
Al analizar el contenido de azufre se observaron diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ , para las dos primeras profundidades muestreadas, los valores promedio para la profundidad de 0 - 10 cm, (Figura 15) fueron los siguientes, en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 5,76 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril se observó un valor promedio de 7,69 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso del suelo con el cultivo de caña existió un valor promedio de 10,84 mg/kg<sup>-1</sup> y en el uso del suelo con Bosque un valor promedio de 5,56 mg/kg<sup>-1</sup>, considerado como valor medio, según el Anexo 3, que establece el INIAP (2012).

De igual manera este elemento disminuye drásticamente a una profundidad de muestreo de 10 - 20 cm a valores considerados bajos, en el uso de la tierra con un Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 2,91 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso de la tierra con un Sistema Agrosilvopastoril se evidenció un valor de 3,81 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso del suelo con el cultivo de caña existió un valor promedio de 5,59 mg/kg<sup>-1</sup> y en el uso del suelo con Bosque un valor de 3,18 mg/kg<sup>-1</sup>, analizados los datos obtenidos, existió diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ .

Al igual que con el elemento magnesio, este elemento disminuye considerablemente a una profundidad de muestreo de 20 - 30 cm, a valores considerados bajos es así que, en el uso de la tierra con el Sistema Silvopastoril presentó un valor promedio de 2,77 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso de la tierra con el Sistema Agrosilvopastoril se observó un valor de 3,06 mg/kg<sup>-1</sup>, en el uso del suelo con el cultivo de caña se apreció valores promedio de 3,67 mg/kg<sup>-1</sup> y en el uso del suelo



con Bosque un valor promedio de 2,52 mg/kg<sup>-1</sup>, no existe diferencia significativa a un nivel de  $P \leq 0,05$ .



**Figura 15.** Valores promedios de azufre (S) en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

En este estudio solo se analizó el elemento azufre, pero en el suelo existen dos formas del elemento azufre; la orgánica, que representa más del 90% de la reserva total existente (Janzen y Ellert, 2001), aunque su velocidad de transformación en formas aprovechables no supera el 2% al año (Saggar y Bolan, 2003); y la inorgánica, como sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), los sulfuros ( $\text{S}^{2-}$ ), el azufre elemental ( $\text{S}^0$ ), el sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), el tiosulfato ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) y el tetratiónato ( $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ ). (Sampaio et al., 2000), que pueden hallarse en los suelos combinadas con calcio, magnesio, potasio, sodio y amonio (Burbano, 2001), así mismo por la importancia y presencia del elemento azufre se enfocó en estudios puntuales de este elemento químico.

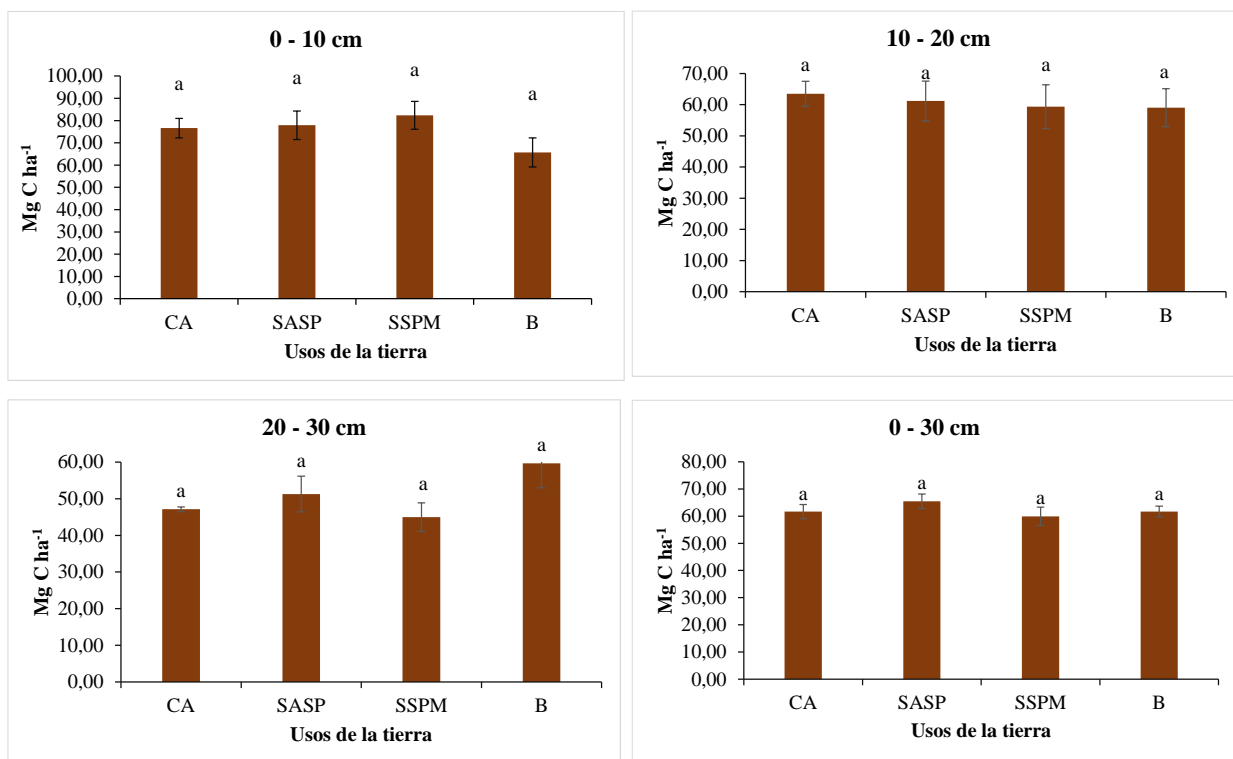
## **4.2 Almacenamiento de carbono en distintos compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo) para los usos de la tierra considerados.**

### **4.2.1 Carbono total almacenado (CTA) de los tres compartimentos (biomasa aérea, hojarasca y suelo).**

#### **Secuestro de Carbono en el compartimiento Suelo**

Los valores de secuestro de carbono en el componente suelo a distintas profundidades se muestra en la figura 16. Como se puede apreciar para ninguna profundidad se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), sin embargo, independientemente de los usos de la tierra en el horizonte superficial se registraron las mayores cantidades, alcanzando la reserva más alta de  $82,33 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en el uso de suelo con Sistema Silvopastoril y el valor mínimo de  $65,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en el uso de suelo con Bosque, lo cual se debe fundamentalmente a la relación directa entre biomasa, abundancia y dominancia de especies que tienen la capacidad de proporcionar materia orgánica.

Para la segunda profundidad de muestreo (10-20 cm) se observó la siguiente tendencia Caña de azúcar ( $63,50 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) > Sistema Agrosilvopastoril ( $61,19 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) > Sistema Silvopastoril ( $59,38 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) > Bosque  $59,04 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Para el tercer horizonte (20-30 cm) si bien, se presentó una disminución del secuestro de carbono en todos los usos, el valor máximo de reserva de C se registró en Caña de azúcar ( $47,12 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) y el mínimo con el Sistema Silvopastoril ( $44,97 \text{ Mg C ha}^{-1}$ )



**Figura 16.** Secuestro de Carbono en el compartimiento suelo en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

CA: Caña, SASP: Sistema Agrosilvopastoril, SSPM: Sistema Silvopastoril, B: Bosque.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

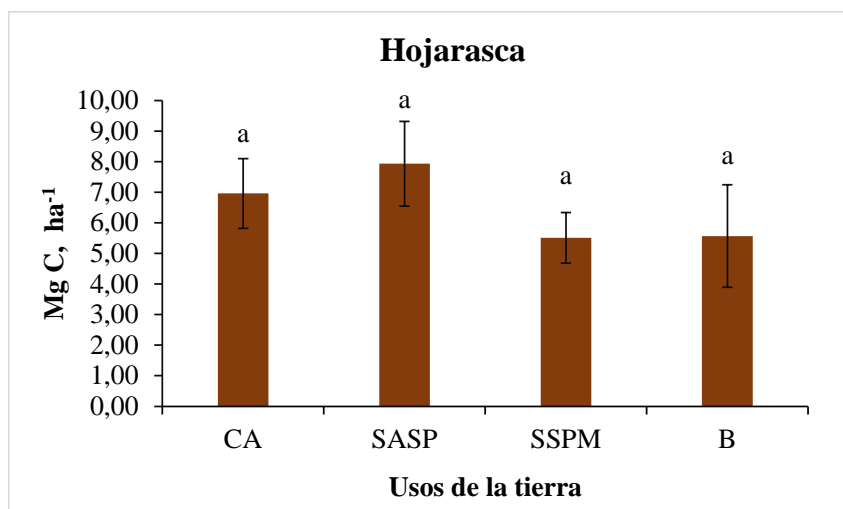
Para la ponderación de las reservas de carbono en todo el perfil evaluado se consideró el espesor de 0-30 cm de profundidad, registrando valores que oscilaron de 60 a 63 Mg C ha<sup>-1</sup> sin diferencias significativas.

Para la amazonia ecuatoriana algunos resultados en sistemas de pasturas con árboles y sin árboles reportan valores que oscilan de 36 a 49 Mg C ha<sup>-1</sup> (Bravo et. al, 2017), lo cual está asociado al uso histórico con bosque que ha permitido una alta acumulación de materia orgánica (Bravo et. al, 2021). A pesar del historial de uso con bosque en la amazonía ecuatoriana la conversión de bosques a sistemas ganaderos no necesariamente representa una disminución de las reservas de carbono en el suelo, lo cual va a depender del manejo de los sistemas, como es el caso de este estudio con el sistema de Caña de azúcar que anualmente recibe grandes dosis de abono orgánico y los sistemas silvopastoriles a través de la biomasa

de raíces y hojarasca y el estiércol de ganado (Bravo et. al, 2017). Los resultados de este estudio reflejan un enorme potencial de los suelos en la región amazónica ecuatoriana para secuestrar carbono, lo cual está asociado a diferentes factores como el clima (Tropical hiperhúmedo), la vegetación y algunos usos de la tierra que predominan en esta zona como los sistemas agroforestales (pastura con árboles) que permiten mantener altas concentraciones de carbono orgánico en el suelo (Bravo et. al, 2021; Torres et. al, 2019). Globalmente se ha señalado que el secuestro de carbono en el suelo muestra una correlación negativa con las reservas iniciales de carbono y los efectos de los factores climáticos (temperatura media anual y precipitación media anual) sobre el secuestro de C puede variar según el tipo de conversión de uso de la tierra (Deng et. al, 2016). Al respecto se ha señalado que el nivel crítico de requisitos de entrada de C para mantener el COS en niveles superiores a  $10 \text{ Mg C ha}^{-1}$  oscila entre 1,1 y  $3,5 \text{ Mg C/ha/año}$  y difiere de acuerdo al tipo de suelo y los sistemas de producción (Lal, 2014). En este estudio los niveles de Carbono superan dicho límite para todos los usos de tierra evaluado, por tanto, se espera que los valores de secuestro sean altos, lo cual le confiere un alto potencial de reserva de C y una minimización de emisiones de  $\text{CO}_2$ . Si bien, la degradación de los suelos puede propiciar un descenso de Carbono por el mal uso y manejo, a pesar de ello, una adecuada selección de usos y manejo del suelo puede reducir la tasa de emisiones de  $\text{CO}_2$  atmosférico, obteniendo impactos positivos y su potencial para prestar servicios ecosistémicos (Díaz 2016; González et. al, 2012). El suelo puede actuar como fuente o depósito de carbono dependiendo de su uso y manejo (Martínez et. al, 2008).

### **Secuestro de Carbono en la Hojarasca**

El Carbono (C) asociado a la vegetación no arbórea en este caso la hojarasca, no presentó diferencias significativas entre los usos de la tierra, representando el menor aporte en comparación a labiomasa aérea y el suelo, criterios similares los manifiesta Moreno (2018). El C en hojarasca presentó la siguiente tendencia, para el uso del suelo con el Sistema Agrosilvopastoril el valor obtenido fue de  $3,97 \text{ Mg C ha}^{-1}$  seguido por el cultivo de Caña de azúcar con  $3,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , Bosque  $2,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y finalmente el uso de suelo con Sistema Silvopastoril  $2,76 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Los valores obtenidos igualmente reflejan un aporte importante de la hojarasca a las reservas de carbono en el suelo en todos los usos evaluados



**Figura 17.** Secuestro de Carbono, en Hojarasca.

**CA:** Caña, **SASP:** Sistema Agrosilvopastoril, **SSPM:** Sistema Silvopastoril, **B:** Bosque.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

### Secuestro de Carbono de la biomasa aérea (Mg C ha<sup>-1</sup>)

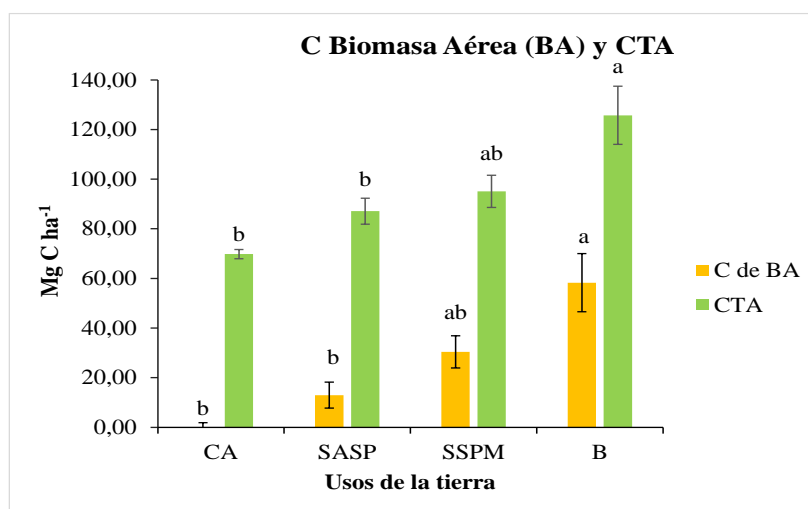
Evaluar las reservas de biomasa (Biomasa aérea, Mg ha<sup>-1</sup>) en los bosques es un método eficaz para estimar la cantidad de carbono almacenado en dichas estructuras vivas en diferentes períodos, y así valorar su contribución al ciclo del carbono (Vásquez et. al, 2012). Estudios anteriores mencionan que la biomasa arbórea contiene alrededor de 380 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono almacenado, pero la extracción de la madera de un ecosistema boscoso, para llevarlos cambios de manejo de suelo reduce a 100 y 156 Mg ha<sup>-1</sup> el carbono aportado por la biomasa aérea (Burton et. al, 2013). Los ecosistemas amazónicos sufren una gran presión antrópica, al ser la extracción de madera un mecanismo fundamental en la economía de las comunidades locales y, también en la economía de la nación (Mogrovejo, 2017).

En este estudio, la biomasa aérea presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los distintos usos de la tierra, mostrando la siguiente secuencia 116,56; 60,79 y 25.92 Mg ha<sup>-1</sup> para el uso con bosque, sistema silvopastoril y sistemas Agrosilvopastoril, lo cual se tradujo en aporte diferenciados de secuestro de carbono para este compartimiento. Los valores de carbono aportado por este componente igualmente exhibieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) (Figura 18), con rangos que oscilaron de 12,96; 30,39 y 58.28 Mg de C ha<sup>-1</sup> para

**SASP**, **SSPM** y **B** respectivamente. Los valores obtenidos en este componente reflejan el papel de las especies arbóreas como en el secuestro de carbono resaltando la importancia de los sistemas silvopastoriles como sistemas análogos al bosque y con un gran potencial de secuestro de carbono (Bravo et. al, 2015; Lal, 2014) evidenciando los servicios de regulación y soporte que puede prestar al minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la fertilidad del suelo.

### Carbono Total almacenado (CTA, Mg C Ha<sup>-1</sup>)

El Carbono Total Almacenado (CTA) se corresponde con distintos compartimentos (Suelo, Hojarasca y Biomasa Aérea). Como se aprecia en la figura 18, el CTA exhibió diferencias significativas con rangos que variaron de 125,73 Mg C ha<sup>-1</sup> en el Bosque, 95,11 Mg C ha<sup>-1</sup> en **SSPM**, **87,10** Mg C ha<sup>-1</sup>, **SASP** y 69,71 Mg C ha<sup>-1</sup> en **CA**.



**Figura 18.** Carbono de la Biomasa Aérea (BA) y Carbono Total almacenado (CTA), en diferentes usos de la tierra y profundidades de muestreo.

**CA:** Caña, **SASP:** Sistema Agrosilvopastoril, **SSPM:** Sistema Silvopastoril, **B:** Bosque.

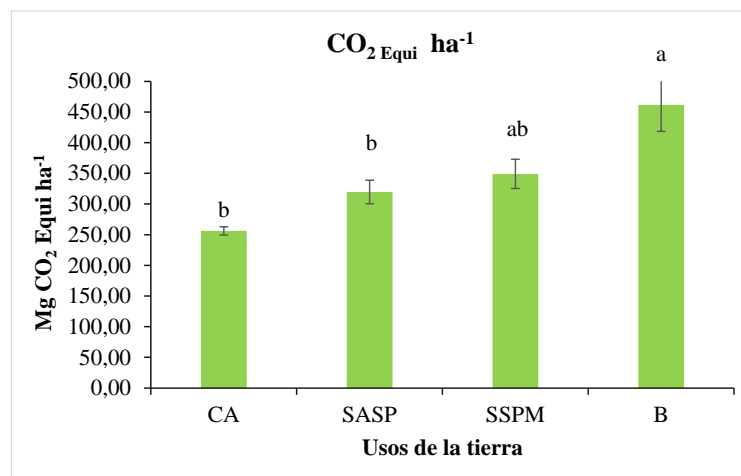
*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

De los tres primeros compartimentos, independientemente del uso de suelo se pueden señalar que el mayor aporte al CTA en Mg ha<sup>-1</sup>, es la biomasa aérea, seguido por el componente suelo y en menor valor la hojarasca, concordando con Moreno (2018); al ser la biomasa uno de los

componentes que tienen los ecosistemas para acumular o almacenar materia orgánica en diferentes períodos de tiempo; está compuesta por el peso de la materia orgánica epigea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Cuenca et. al, 2017).

### **Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (Equi Ha<sup>-1</sup>).**

En cuanto a la capacidad de retención del CO<sub>2</sub>, se relaciona directamente con los usos de suelo (Figura 19), presentando diferencias significativas entre sí a un nivel de ( $P \leq 0,05$ ), resultando ser el bosque con el valor más alto 461,43 Mg C ha<sup>-1</sup>, concordando con la cantidad CTA del presente estudio y Moreno (2018); con respecto al uso en el Sistema Silvopastoril es de 349,04 Mg C ha<sup>-1</sup>, en el uso de suelo en el Sistema Agrosilvopastoril fue de 319,67 Mg C ha<sup>-1</sup> y en el uso del suelo con el cultivo de Caña fue de 256,14 Mg C ha<sup>-1</sup>, disminuye principalmente a causa del componente biomasa aérea. Resultados similares para la zona han sido reportados por Jadán et. al, (2017), al compartir las mismas condiciones tropicales. Sin embargo; el aumento de carbono no solo depende de las circunstancias ambientales, sino también del manejo que se dé al suelo, el cual puede causar cambios en el stock de C, otras investigaciones reportan una disminución del stock de C cuando hay conversión de bosques a sistemas intensivos (Bravo et. al, 2017b; Martínez et. al, 2008).



**Figura 19.** Dióxido de carbono, almacenado en diferentes usos de la tierra.

**CA:** Caña, **SASP:** Sistema Agrosilvopastoril, **SSPM:** Sistema Silvopastoril, **B:** Bosque.

*\*Letras distintas en una misma profundidad indica diferencias significativas a un nivel de  $P \leq 0,05$ . Mediante la prueba de Tukey.*

### **4.3 Valoración económica de los servicios ecosistémicos en base a la fertilidad y CO<sub>2</sub> almacenado, bajo los usos de la tierra considerados.**

La valoración económica en el contexto de los servicios ecosistémicos tiene varias e importantes ventajas según Ortega (2008), entre ellas: facilita analizar las mejores alternativas para la sociedad, cuando todos los valores se miden de la misma manera; es más fácil y eficaz brindar información a los tomadores de decisiones en términos monetarios en vez de biofísicos; y el establecimiento de esquemas de pago por servicios ecosistémicos u otros instrumentos de política entre diferentes partes requiere mediciones en términos monetarios y no biofísicos. Según Barroso-Tagua (2017), el valor de los servicios ecosistémicos se puede estimar de varias maneras, normalmente teniendo un marco con tres partes principales: medición de la provisión de servicios; determinando el valor monetario y el diseño de herramientas de política para gestión de servicios ecosistémicos.

En la Tabla 6, se presenta la valoración de la fertilidad como un servicio ecosistémico que aportan los diferentes usos de este estudio, considerando la disponibilidad de nutrientes. Indistintamente del uso de suelo, el aporte económico total es 17 469,94 \$ ha<sup>-1</sup>, donde los mayores aportes los atribuye la materia orgánica del suelo (MO), seguido del nitrógeno inorgánico (NI), el calcio (Ca<sup>+2</sup>), el potasio (K<sub>2</sub>O), el magnesio (Mg<sup>+2</sup>), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y azufre (S<sup>+2</sup>). El valor económico de la MO fue estimado a un precio de 125 \$ por Mg, precio que se obtiene de los productos que distribuye la casa comercial de agroquímicos (Agripac, 2022), con un aporte total de 14 888,28 \$ ha<sup>-1</sup> (Tabla 6), resultando ser el uso con el cultivo de caña el más representativo 5 182,07 \$ ha<sup>-1</sup>, sin embargo; los otros usos también aportan valores similares e importantes, entre 5 087,12 \$ ha<sup>-1</sup> Sistema Silvopastoril, 3 746,70 \$ ha<sup>-1</sup> Sistema Agrosilvopastoril y 3 454,05 \$ ha<sup>-1</sup> en el uso de suelo con Bosque .

En cuanto al nitrógeno, calcio, potasio, magnesio, fósforo y azufre en kg ha<sup>-1</sup>, fue estimado a un precio de 1,8; 1,04; 1,16; 0,65, 0,95 y 0,90 \$ por Kg respectivamente, precios que se obtiene de los productos que distribuye la casa comercial de agroquímicos (Agripac, 2022). En cuanto al aporte económico a nivel de uso de suelo se destaca el uso sistema agrosilvopastoril por contener un alto contenido de nitrógeno de 81.45 \$ ha<sup>-1</sup>, mientras que el bosque presenta el menor aporte 55.91 \$ ha<sup>-1</sup>, de igual manera el uso de suelo con el cultivo de



caña presenta un aporte económico de potasio de 60.76 \$ ha<sup>-1</sup>, de magnesio de 52.86 \$ ha<sup>-1</sup> y azufre de 3.00 \$ ha<sup>-1</sup> en comparación con los otros usos de la tierra. El uso de la tierra con bosque es el que aporta menor económicamente en todos los parámetros a excepción del magnesio. Según Razz et. al, (2006), este comportamiento se relaciona con la descomposición de la materia orgánica, que a pesar de las condiciones meteorológicas y el cambio de uso de suelo proporcionan un servicio ecosistémico.

**Tabla 6.**

*Valoración económica de la fertilidad del suelo bajo distintos usos del suelo.*

<b>Parámetro/TUT</b>	<b>CA</b>	<b>SASP</b>	<b>SSPM</b>	<b>B</b>
<b>Materia orgánica Mg ha<sup>-1</sup></b>	35.37	25.36	34.74	23.64
Precio de Mercado \$ x Mg	125.00	125.00	125.00	125.00
Valor Económico \$	4421.50	3169.91	4342.14	2954.73
<b>N Kg ha<sup>-1</sup></b>	67.93	75.42	57.14	51.77
Precio de Mercado \$ x Kg	1.08	1.08	1.08	1.08
Valor Económico \$	73.37	81.45	61.71	55.91
<b>P kg ha<sup>-1</sup></b>	3.45	2.30	2.40	2.22
Precio de Mercado \$ x Kg	0.95	0.95	0.95	0.95
Valor Económico \$	3.28	2.19	2.28	2.11
<b>K<sup>+</sup> kg ha<sup>-1</sup></b>	52.38	47.44	44.94	34.04
Precio de Mercado \$ x Kg	1.16	1.16	1.16	1.16
Valor Económico \$	60.76	55.03	52.13	39.49
<b>Ca<sup>2+</sup>, kg ha<sup>-1</sup></b>	545.49	380.66	561.72	342.47
Precio de Mercado \$ x Kg	1.04	1.04	1.04	1.04
Valor Económico \$	567.31	395.88	584.19	356.17
<b>Mg<sup>2+</sup> kg ha<sup>-1</sup></b>	81.32	61.58	66.26	67.90
Precio de Mercado \$ x Kg	0.65	0.65	0.65	0.65
Valor Económico \$	52.86	40.03	43.07	44.13
<b>S, kg ha<sup>-1</sup></b>	3.34	2.45	1.79	1.69
Precio de Mercado \$ x Kg	0.9	0.9	0.9	0.9
Valor Económico \$	3.00	2.20	1.61	1.52
<b>Valor Económico Total \$ ha<sup>-1</sup></b>	<b>5182.07</b>	<b>3746.70</b>	<b>5087.12</b>	<b>3454.05</b>

CA: Caña, SASP: Sistema Agrosilvopastoril, SSPM: Sistema Silvopastoril, B: Bosque. N: nitrógeno inorgánico; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; S: azufre.

A partir del surgimiento de los Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el secuestro de carbono halla un valor en el mercado, los cuales son criticados por convertirse en una exoneración de la responsabilidad de cada nación con el problema del cambio climático global (Miranda et. al, 2007).

De acuerdo al Banco Mundial (2016), el precio del carbono presenta una variabilidad significativa, alcanzando valores máximos de \$130 t/CO<sub>2</sub> equivalente y valores bajos de \$1 t/CO<sub>2</sub> equivalente, a la vez las emisiones a nivel mundial son mercantilizadas a un precio medio de \$10 t/CO<sub>2</sub> equivalente. El pago de servicios ambientales por fijación y acopio de carbono simboliza una opción para dar valor adherido a la producción, lo que podría tener una gran importancia para los productores (González et. al, 2013).

La valoración económica de CO<sub>2</sub> equivalente como servicio ecosistémico tiene un valor económico en el mercado de 15 \$ por mega gramo (Mg) según el Sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub> (2018), semejante a lo descrito por el Banco Mundial. Indistintamente del uso de suelo, los resultados del aporte económico total 20 794,22 \$ ha<sup>-1</sup> (Tabla 7), valor que es atribuido mayoritariamente por el bosque 6 921,52 \$ ha<sup>-1</sup>, que al estar compuesto por la biomasa aérea de la cual carecen el resto de usos, marca una diferencia importante entre los demás usos de la tierra, mitigando más de 1 386,28 Mg o toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente ha<sup>-1</sup>.

Del análisis anterior podemos deducir que es importante mantener, recuperar y conservar los bosques, mediante planes y programas de reforestación, que se compensarían con el pago del servicio ambiental del secuestro de carbono.

**Tabla 7.**

*Valoración económica del CO<sub>2</sub> equivalente en distintos usos del suelo.*

<b>Usos de suelo</b>	<b>CO<sub>2</sub> Equi Mg ha<sup>-1</sup></b>	<b>Precio de Mercado \$ x Mg</b>	<b>Valor Económico \$</b>
<b>Caña de Azúcar</b>	256.14	15,00	3842.12
<b>Sistema Agro Silvopastoril</b>	319.67	15,00	4795.01
<b>Sistema Silvopastoril Maderable</b>	349.04	15,00	5235.57
<b>Bosque</b>	461.43	15,00	6921.52

CA: Caña, SASP: Sistema Agrosilvopastoril, SSPM: Sistema Silvopastoril, B: Bosque, CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

Los mecanismos de Pago por Servicios Ambientales (PSA), consisten en pagar a los propietarios de las tierras por los servicios o beneficios medio ambientales que producen como: Captura de carbono y Conservación de la biodiversidad, solo si el proveedor suministra efectivamente dicho servicio ambiental. La puesta en práctica de estos esquemas, se basa en el hecho de que la clave para revertir la degradación y pérdida de los servicios que prestan los ecosistemas, es el cambio en las prácticas de la producción industrial y en el uso del suelo del mundo (Ortega, 2008).

## CONCLUSIONES

- El comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en el área de estudio, está marcada por la naturaleza de los suelos y por su alto contenido de materia orgánica, es así que los resultados del análisis de los parámetros físicos del suelo, revelan que existe un patrón de comportamiento en los dos primeros horizontes donde predominan las clases texturales francas y franco limosa, con mayores proporciones de arena y limo con respecto al contenido de arcilla, y por la ubicación del área de estudio podemos argumentar que son suelos muy susceptibles a degradarse, por pérdida de nutrientes facilitado por las condiciones climáticas, independientemente del uso de la tierra los valores asociados a las propiedades físicas definen las propiedades físicas, en cuanto a los parámetros físicos del suelo evaluados a través de los índices estructurales (Da, Ksat, Pt, Pa, Pr), los dos primeros como son Densidad aparente y Conductividad hidráulica saturada, mostraron rangos categorizados adecuados para todos los usos del suelo, al comparar con los valores críticos que se establecen para cada variable, permitiendo estimar en términos cuantitativos las concentraciones de cada elemento, en las tres profundidades estudiadas, no así los valores de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención que superan los valores críticos que se establecen para cada variable, ocasionando que exista una alta capacidad de retención de humedad, limitando el flujo de agua, flujo de aire, la actividad biológica, la penetración de las raíces, minimizando el volumen de agua que potencialmente puede generar problemas de erosión.
- En cuanto a las propiedades biológicas que están estrechamente ligadas a las propiedades químicas, es evidente que en el horizonte superficial, presenta las mejores condiciones, como es el contenido de MO, donde en el uso de la tierra con SSP concentra un 13,44% considerado un valor alto, comportamiento que se mantiene en los otros usos de la tierra, disminuyendo a diferentes profundidades del suelo, de igual manera el contenido de NT es considerado alto para los diferentes usos de la tierra como es el caso de SASP a una profundidad de 0-10 cm con 217,75 mg/kg, en cambio el uso de la tierra con el cultivo de caña de azúcar presento un mayor contenido de fosforo con 10,48 mg/kg considerado como valor medio, por otra parte el contenido de

potasio a una profundidad de 0 - 10 cm fue alto para los cuatro usos de la tierra, sobresaliendo en el uso del suelo con caña de azúcar 0,51 meq/100ml, en cuanto al contenido de calcio las concentraciones se mantienen superior en el primer horizonte de estudio un ejemplo de eso es en el usos de la tierra con SSP donde presento un valor de 11 meq/100ml, el contenido de magnesio tuvo un comportamiento similar al calcio a diferentes profundidades de muestreo, en tal sentido el uso de la tierra con caña de azúcar presentó un valor de 2,21 meq/100ml en la primera profundidad de estudio, considerado un valor medio, en el caso del elemento químico azufre la concentración en las tres profundidades de estudio y en los cuatro usos de la tierra de manera general presentaron valores medios y bajos, con la particularidad de que en el uso del suelo con caña de azúcar se evidencio un valor promedio de 10,84 mg/kg<sup>-1</sup> se debe agregar que, existe una cantidad importante de los nutrientes químicos determinados, para el desarrollo de las plantas y para la regulación de los procesos de ecosistemas amazónicos, con la particularidad que son suelos ácidos independientemente el uso de la tierra al cual está destinado, característica que no influye en la presencia de algunos elementos químicos como el calcio y magnesio.

- El potencial de carbono total almacenado es considerado como servicio ecosistémico, en el estudio, se observó que a diferentes usos del suelo presentó un mayor índice en el uso de la tierra con bosque 125,73 Mg ha<sup>-1</sup>; 95,11 Mg C ha<sup>-1</sup> en SSPM; 87,10 Mg C ha<sup>-1</sup>, en SASP y 69,71 Mg C ha<sup>-1</sup> en CA. lo cual favorece a otros servicios ecosistémicos asociados a una alta presencia de materia orgánica como la fertilidad, el ciclo de nutrientes (soporte) y el clima y la regulación calidad del aire, el secuestro y almacenamiento de carbono, la moderación de fenómenos naturales, la prevención de la erosión (regulación).
- La valoración económica de los servicios ecosistémicos basados en la fertilidad considerando la disponibilidad de nutrientes, permitió tener claro cuan importancia tienen los ecosistemas amazónicos y los beneficios que se pueden obtener de ellos (fertilidad agrícola), en ese sentido el aporte económico total fue de 17 469,94 \$ ha<sup>-1</sup>, donde los mayores aportes los atribuye la materia orgánica del suelo (MO), con un aporte total de 14 888,28 \$ ha<sup>-1</sup>, seguido del nitrógeno inorgánico (NI), el calcio

(Ca<sup>+2</sup>), el potasio (K<sub>2</sub>O), el magnesio (Mg<sup>+2</sup>), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y azufre (S<sup>+2</sup>), en cambio comparando el valor económico de acuerdo al uso de la tierra, el cultivo de caña es el más representativo con 5 182,07 \$ ha<sup>-1</sup>, sin embargo los otros usos también aportan valores similares e importantes, entre 5 087,12 \$ ha<sup>-1</sup> Sistema Silvopastoril, 3 746,70 \$ ha<sup>-1</sup> Sistema Agrosilvopastoril y 3 454,05 \$ ha<sup>-1</sup> en el uso de suelo con Bosque.

- La valoración económica del CO<sub>2</sub> equivalente fue de \$ 20 794,22 valor que es atribuido mayoritariamente por el bosque 6 921,52 \$ ha<sup>-1</sup>, que al estar compuesto por la biomasa aérea de la cual carecen el resto de usos, marca una diferencia importante entre los demás usos de la tierra, mitigando más de 1 386,28 Mg o toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente ha<sup>-1</sup>.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se plantea las siguientes recomendaciones:

- Instaurar un monitoreo permanente que permita obtener información sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo con el propósito de tener datos actualizados, que permita comparar resultados con otros estudios realizados en escenarios similares.
- Motivar a los propietarios de las fincas de la provincia y región amazónica a aplicar buenas prácticas agrícolas y ambientales, como: la reforestación, establecimiento de sistemas forestales, sistemas agroforestales, agricultura con labranza cero, con el propósito de almacenar C y retener CO<sub>2</sub>, obteniendo beneficios lucrativos mediante bonos de Carbono y Pago por Servicios Ambientales.
- Incentivar a la producción de investigación científica, que permita generar nuevas metodologías y estas posibilite identificar nuevos servicios ecosistémicos en la región amazónica, en consecuencia, se establezcan procedimientos más exactos para realizar valoraciones económicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. y Carrillo, A. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 105-114.
- Alonso-F, Ana Milena, Finegan, Bryan, Brenes, Christian, Günter, Sven, & Palomeque, Ximena. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación *Podocarpus-Yacuambi*, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 140- 156. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77– 85.
- Agripac. (2022). Empresa de agroquímicos del Ecuador. Guayaquil-Ecuador: Agripac S.A. Recuperado de <http://www.agripac.com.ec/es/inicio/>.
- Andrade GI, Castro, LG. (2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia, invitación a una interpretación socioecológica. *Ambiente y Desarrollo*. XVI(30):53-71.
- Andrade. H. & Segura. M. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Costa Rica: CATIE.
- Andrade, H., y M. Ibrahim. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10:109-116.
- Arana-Medina, V. (2015). Análisis y valoración de los servicios de los ecosistemas de humedales asociados al río León (Urabá Antioqueño – Colombia). Su relación con el sistema hídrico subterráneo y con el bienestar humano. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de La Plata, Colombia.
- Aznar Sánchez, J.J. y Velasco Muñoz, J.F. (2016): Valoración de los ecoservicios en los agroecosistemas españoles: un estado de la cuestión. *Observatorio Medioambiental*, 19, 165-181.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21 (1-2): 136-147.



- Baker TR, Phillips OL, Malhi Y et al (2004) Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian Forest biomass. *Glob Change Biol* 10:545–562
- Banco Mundial. (2016). Estado y tendencias del precio del carbono 2016.
- Barbecho, J. y Calle, J. (2012). Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui.
- Barroso-Tagua, R., Álvarez, D., Huera, T., Changoluisa, D. y Bravo, C. (2017). La fertilidad del suelo como un servicio ecosistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), en la provincia de Napo, 101-108. En: Alemán, R., Reyes, H. y Bravo, C. (Eds.) (2017). Libro de memorias: Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador. 279 pp.
- Burley, J. (2002). Panorámica de la diversidad biológica forestal. *Unasylva*, 53(209).
- Blake, GR y Hartge, KH (1986) Métodos de densidad aparente de análisis de suelos, Parte 1, Método físico y mineral. ed. por A. Klute, 363-382.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernandez, R. M., Piñango, L. y Moreno, B. (2004). Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro*, 16(3):163-172.
- Bravo, C. (2015). Manejo del recurso suelo bajo agroecosistemas ganaderos. En: Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonía Ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica. Puyo-Pastaza. 15-45 pp.
- Bravo, C. Diócleides, B. Vargas, J. Alemán, R. Torres, B & Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología Volumen 4 N°1-* (Pag 3-31). Obtenido de Universidad Estatal Amazónica: [https://www.uea.edu.ec/revista/images/ARTICULOS6/ARTICULO\\_1\\_VOL\\_4%20N\\_1.pdf](https://www.uea.edu.ec/revista/images/ARTICULOS6/ARTICULO_1_VOL_4%20N_1.pdf)
- Bravo, C. Torres, B. Alemán, R. Changoluisa, D. Marín, H. Reyes, H & Navarrete, H. (2017). Estructura del suelo y secuestro de carbono como servicios ecosistémicos bajo

diferentes usos de la tierra en la región amazónica ecuatoriana. Sciforum; MOL2NET, Serie de conferencias internacionales sobre ciencias multidisciplinarias.

- Bravo-Medina, Carlos, Marín, Haideé, Marrero-Labrador, Pablo, Ruiz, María E, Torres-Navarrete, Bolier, Navarrete-Alvarado, Henry, Durazno-Alvarado, Galo, & Changoluisa-Vargas, Daisy. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23-36.
- Bravo, C. Ramírez, A. Marín, H. Torres, B. Alemán, R. Torres, R. Navarrete, H & Changoluisa, D. (2017b). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos del suelo de la Región Amazónica Ecuatoriana. Volumen 18 N° 11. Obtenido de REDVET: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111117/111705.pdf>
- Bravo-Medina C, Goyes-Vera F, Arteaga-Crespo Y, García-Quintana Y, Changoluisa D. A soil quality index for seven productive landscapes in the Andean Amazonian foothills of Ecuador. *Land Degrad Dev.* 2021;1–16.<https://doi.org/10.1002/ldr.3897>
- Bertsh, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Brissio, P. A. (2005). Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera. (Tesis Licenciatura). Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.tesis.bioetica.org/pab.htm>
- Brown. S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. In actas del XI congreso Mundial Forestal: recursos Forestales y Arbores. Vol 1. Antalya Turkia 13-22 October of 1997.
- Burbano, H. 2001. El azufre en el suelo. En: Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Bogotá, Colombia, SCCS. Pp 24-49.
- Burton J.I., Ares A., Olson D.H. y Puettmann K.J. (2013). Management trade-off between aboveground carbon storage and understory plant species richness in temperate forests *Ecological Applications* 23:1297-1310.

- Burger, J. A. y Kelting, D. L. (1999). Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management*, 122(1), 155-166.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela.- UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela. 481 pp.
- Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Serie técnica, Informe técnico, CATIE; 384.
- Camacho-Valdez, V. y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1, (3-15).
- Cuellar, R. M. y Talaverano, N. S. Z. (2018). Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal-Parque Nacional del Huascarán. *Cátedra Villarreal*, 6(1).
- Cutini, A., Chianucci, F. y Manetti, M. C. (2013). Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (*Pinus pinea* L.) in Italian coastal stands. *IForest* 6: 331-337.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J., Eamus, D. y Kira, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chimbo, I. (2016). Evaluación del Carbono en la Biomasa de dos especies forestales introducidas (*Eucalyptus* y *Pinus*) y una especie nativa (*Hesperomeles Ferruginea*) en el bosque Aguarongo. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.
- Chirinos, I. y Mattiazzo, M. (2004). Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 1-11.
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I. y Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones geográficas*, 66, (81-104).

- Crisci, J. V. (2006). Espejos de nuestra epoca: biodiversidad, sistematica y educacion. Gayana. Botánica, 63, 106-114.
- Conti, M. E. (2002). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Edafología.
- Dale VH, Polasky S. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. Ecol. Econ. 64(2):286–96.
- Da Silva, A. P., Imhoff, S. y Corsi, M. (2003). Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system.70: 83-90.
- De Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemsen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity. 2010;7:260–272.
- Deng, L; Zhu, G-yu; Tang, Z-s; Shangguan, Z-p. Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. Global ecology and conservation, 2016,5, 127-136
- Doran, J. W. y Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15(1), 3-11.
- Díaz, A. (2016). Impacto ambiental del cambio de uso del suelo sobre los parámetros edáficos en la Reserva de Biosfera Sumaco, Provincia de Napo. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza.
- Eguren. (2004). El Mercado de Carbono en América Latina y El Caribe: Balance y Perspectivas. Disponible en línea en: <http://ftp.fao.org/docrep/nonfao/LEAD/X6367s/x6367s00.pdf>. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 83. Marzo [Santiago de Chile].
- Escobar, A. (1999). Comunidades negras de Colombia: en defensa de biodiversidad, territorio y cultura. Biodiversidad, 22, 15-20.
- Esptein, E and Bloom, A. 2004. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. 2. Ed. Sunderland, Sinaur Associates. Pp. 44-45.

- Farley, K. (2007). Grasslands to tree plantations: forest transition in the Andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(4), 755- 771.
- Fernández, M. T. y Rodríguez, H. (2006). Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 27-34.
- Florentino, A. (1998). Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos. *Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas*. Facultad de Agronomía UCV. Maracay-Venezuela. p, 68-77.
- GAD Fátima. (2015). Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Fátima. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1660011020001\\_FaPDOT\\_GAD%20Parroquia2015\\_30-10-2015\\_15-22-13.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1660011020001_FaPDOT_GAD%20Parroquia2015_30-10-2015_15-22-13.pdf)
- Galantini, J. A. (2002). Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *INTA, Argentina. RIA*, 30, 125–146.
- Galicia, L., Saynes, V. y Campo, J. (2015). Biomasa Aérea, Subterránea y Necromasa en una Cronosecuencia de Bosques Templados con Aprovechamiento Forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484.
- García-Ávila, C. d. J., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Colinas-León, M. T. B., Trejo-Téllez, L. I. y Vargas-Madriz, H. (2015). Magnesio y su relación con la calidad de *Lilium cv. Casablanca*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6, 265-276.
- GeoEcuador. (2008). Informe sobre el estado del medio ambiente. Obtenido de flacsoandes: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>
- Gaspari, F. J., Díaz-Gómez, A. R., Delgado, M. I. y Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 144, (214-221).

- González, D & Figueroa, J. (2013). Valoración del Servicio Ecosistémico Secuestro de Carbono, como una vía para contribuir con el Desarrollo Sostenible de un país. Caso: Venezuela. LACCEI; Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G. y Chávez-Ramírez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 21-32.
- González, H. 2003. Disponibilidad del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana y su relación con la fertilización. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales. 79 p.
- Guerrero, R. 2002. La fertilización del cultivo de la papa en Colombia. Bogotá, Monómeros Colombo-Venezolanos, Bogotá. 26 p.
- Gliessman, S.R. (2007): *Agroecology. The ecology of sustainable food system*. Second Edition. Taylors &Francis Group. New York. United Sated. 384 pp
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia de Fátima GADPF, (2015). En línea: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1660011020001\\_FaPDOT\\_GAD%20Parroquia2015\\_30-10-2015\\_15-22-13.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1660011020001_FaPDOT_GAD%20Parroquia2015_30-10-2015_15-22-13.pdf).
- Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Hernández-Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua- Sánchez, R. y Hernández-Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17, 183-196.
- Grijalva, G; Arévalo, V; Wood, C. 2004. Expansión y trayectorias de la ganadería en la Amazonía. Quito, Ecuador, Editorial Tecnigrava. 185 p.

- Hanley, N., Wright, R. E. y Alvarez-Farizo, B. (2006). Estimating the economic value of improvements in river ecology using choice experiments: an application to the waterframework directive. *J. Environ. Manag.* 78, 183–193.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 - Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, Reino Unido: CICES.
- INEC. (2010). Población por sexo, según provincia, parroquia y cantón de empadronamiento. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>.
- INEC. (2013). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Obtenido de Ecuador en cifras: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac%202013/InformeejecutivoESPAC2013.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/InformeejecutivoESPAC2013.pdf)
- INIAP. (2012). El desarrollo rural de la región Amazónica Ecuatoriana. RAE, no se basará únicamente en producción agropecuaria: un análisis reflexivo que lo sustenta. INIAP. Quito-Ecuador.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute, Argentina). 1997. Manual Internacional de fertilidad de los suelos. Agroeditorial. (en línea). <https://es.scribd.com/document/242645735/>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of climate change. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, y A. Adler (Eds.), Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2014 Annual Report). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ibarra-Castillo, D., Ruiz-Corral, J. A., González-Eguiarte, D. R., Flores-Garnica, J. G. y Díaz-Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35, 267-276.
- Iwan, A., Guerrero, E.M., Romanelli, A. & Bocanegra, E. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina).

- Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., Aguirre, Z., González, M., Ponce, E. y Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(1).
- Janzen, H, and Eller, B. 2001. Sulfur dynamics in cultivated, temperate agroecosystems. In: Douglas, G; Maynard, D. (Eds). *Sulfur in the environment*. New York, Marcel Dekker. Pp 11-44.
- Jónsson, J & Brynhildur D. (2016). Clasificación y valoración de los servicios ecosistémicos del suelo. *ELSEVIER, Sistemas agrícolas*.
- Kumar, M. y Kumar, P. (2008). Valuation of the ecosystem services: a psycho-cultural perspective. *Ecol. Econ.* 64, 808–819.
- Kurz-Besson, C., Coûteaux, M.M., Berg, B., Remacle, J., Ribeiro, C., Romanyà, J. y Thiéry, J.M. (2006). A climate response function explaining most of the variation of the forest floor needle mass and the needle decomposition in pine forests across Europe. *Plant and Soil* 285:97–114.
- Lal, R. (2014) Conservación de Suelos y Servicios Ecosistémicos. *Investigación Internacional de Conservación de Suelos y Aguas*, 2, 36-47.
- López, F. y Galantini, J. A. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.
- Lozano, Z., Mogollón, Á., Hernández, R. M., Bravo, C., Ojeda, A., Torres, A., . . . Toro, M. (2010). Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro*, 22(2), 135-144.
- Lozano, Z., Hernández-Hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M. y Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia*, 37:1-8.



- Lozano, P., Torres, B. y Rodríguez, X. (2013). Investigación de Ecología Vegetal en Ecuador: Muestreo y Herramientas Geográficas. Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.
- MAE. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. MAE. Quito.
- Maldonado, F. 2006. Proyecto de manejo integrado y sostenible de recursos hídricos transfronterizos en la cuenca del río Amazonas (en línea). Quito, Ecuador. 144 p. Informe Final. Disponible en <http://iwlearn.net/iw-projects/2364/reports/amazon-basin-vision/RelatorioFinalFaustoMadonaldoVisaoEcuador.pdf>
- Martín, C; Pérez, G. 2009. Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30(1):5-10.
- Márquez, G. (2002). Ecología y cultura: cambio ambiental, evolución biológica y evolución cultural. *Politeia*, 28, 41-56.
- Martín-López, B. y Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Guía científica de Urdaibai, UNESCO, Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco, Bilbao, 13–32.
- Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, & Acevedo H, Edmundo. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mayrand, K. & Paquin, M. (2004). Pago por Servicios Ambientales: Estudio y Evaluación de Esquemas Vigentes. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Montreal. Unisfera. Centre International Centre.
- Meier, I.C. y Leuschner, C. (2010). Variation of soil and biomass carbon pools in beech forests across a precipitation gradient. *Global Change Biology* 16:1035-1045.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis* Washington.

- Ministerio de Ambiente. Bosques para el Buen Vivir - Plan de Acción REDD+ Ecuador (2016-2025). Quito, 2016, 223.
- Miranda, Taymer, Machado, R, Machado, Hilda, & Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica.: Estudio de caso. Pastos y Forrajes, 30(4) Recuperado en 31 de mayo de 2018, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942007000400007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000400007&lng=es&tlng=es).
- McGrath, J. M., Spargo, J., & Penn, C. J. (2014). Soil fertility and plant nutrition. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, 166–184. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>
- Mogrovejo, P. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. Obtenido de Universidad Andina Simón Bolívar. Programa de Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5862/1/T2432-MCCNA-Mogrovejo-Bosques.pdf>
- Moragas Valencia, F. 11 nov. 2008. Suelo amazónico (en línea, blog). Disponible en <http://flor-amazonas.blogspot.com/2008/04/suelo-amaznico.html>
- Moreno, G. F. (2018). Biodiversidad y Potencial de captura de carbono en distintos tipos de bosque de la cuenca alta del río Napo (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.
- Naciones Unidas (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de [http://www.acnu.org.cu/sites/default/files/ficheros/convencion\\_marco\\_camb\\_climatico.pdf](http://www.acnu.org.cu/sites/default/files/ficheros/convencion_marco_camb_climatico.pdf)
- Naredo, J. M. (2010). Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Siglo XXI de España Editores, SA.

- Návar, J. González, N. & Graciano, J. (2001). Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango. México. In Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia. Chile (Vol. 18. p. 12).
- Nelson, DW y Sommer, LE (1982) Carbono total, carbono orgánico y materia orgánica. Métodos de Análisis de Suelos, Parte 2. Propiedades Químicas y Microbiológicas, 2da Edición. ASA-SSSA, Madison, 595-579.
- Núñez, M., Serrano, B., Jimenez, H., Benítez, O., Paredes, G., Aguilar, G., Guerra, O. y Ortega, A. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. 1(3),27-35.
- Ordóñez, J. (1998). Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo. Michoacán. D.F. México: Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP.
- Ortega, S. C. (Ed.). (2008). Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia. Bogotá, Colombia. 203 pp.
- Pacha, M. J. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. Brasilia, Iniciativa Amazonía Viva.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A. ... y Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science 333:988-992.
- Paruelo, J. M. (2010). Capítulo 5: Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio *¿Es necesario hablar de dinero?* Valoración de Servicios Ecosistémicos (120-139).
- Peña Venegas, Clara Patricia, Mendoza Olmos, Edmundo Rafael, Rodríguez León, Carlos Hernando, Cardona Vanegas, Gladys Inés, Betancurt Parra, Bernardo Eusebio, & Garzón Gómez, Maolenmarx Tatiana. (2015). Carbon fixing capacity of amazonian soils in relation to its degradation conditions. Revista EIA, (spe2), 47-53. Retrieved May 23, 2018, from

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372015000300004&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372015000300004&lng=en&tlng=en).

- Pérez, O. (2008). Valoración Económica de los Recursos Naturales y del Ambiente. Lima: Cristo Vive.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. Suelos Ecuatoriales, 40(2), 75-93.
- Poppy GM, Chiotha S, Eigenbrod F, Harvey CA, Honzák M, et al. 2014. Food security in a perfect storm: using the ecosystem services framework to increase understanding. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 369(1639):20120288.
- Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365(1554):2959–71.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos. Dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. Suelos Ecuatoriales, 40(2), 75-93.
- PNUMA. (2002). Perspectivas del medio ambiente mundial "Pasado, presente y futuro". Obtenido de unep: [https://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/documents/prelims\\_es.pdf](https://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/documents/prelims_es.pdf)
- Razz, R y Clavero, T. (2006). Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. 23(3) ,331-337.
- Rincón, J. y Gallardo, Y. (2003). Efecto de la relación calcio: fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (willd) <sup>1</sup>. *Bioagro*, 15(2), 97-105.
- Rockström, J., Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F.; Lambin, E.; Lenton, T.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.; Nykvist, B.; De Wit, C.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R.; Fabry, V.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14, 32.

- Rodríguez, L., Curetti, G., Garegnani, G., Grilli, G., Pastorella, F. y Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 41-52.
- Sadeghian, S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo.
- SAGGAR, S., and BOLAN, N. 2003. Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modeling, environmental implications, and mitigation. *Advances in Agronomy* 84, 37-102
- Salamanca J.,A; Sadeghian KH., S (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397.
- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C. y Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465.
- Sánchez, J. A. y Madriñán, S. (2012). Biodiversidad, conservación y desarrollo: Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.
- Sampaio, E.; Faquin, V.; y Gontij, P. 2000. Relações entre teores foliares de nutrientes e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L) submetido a doses de calcário e gesso. *Ciencia e Agrotecnologia, Lavras*, 23 (4): 857-864.
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo, 5, 131-158.
- SENDECO<sub>2</sub>. (2018). Sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub>. Sur de Europa: "IETA" Market solutions for climate change. Recuperado de <https://www.sendeco2.com/es/>.
- Soriano-Luna, M. d. I. Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O. y Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49, 423-438.

- Sundler, S. (2013). *Ecosystem Services in Spatial Planning: Towards sustainable development in the Swedish physical planning process*. Östersund, Sweden: Mid Sweden University.
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Simpson, A. J., Song, G., Smith, E., Lam, B., Novotny, E. H. y Hayes, M. H. B. (2007). Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 876-883.
- Syrbe RU, Watz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*. 2012;21(2012):80–88.
- Torres, B., Vasseur, L., López, R., Lozano, P., García, Y., Arteaga, Y., C, Bravo; C, Barba and García, A (2019). Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: Case study in an evergreen Andean-Amazon Forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*, 94, 1235–1245. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>
- Trujillo-González, J. M., Mahecha-Pulido, J. D., Torres-Mora, M. A., Brevik, E. C., Keesstra, S. D. y Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of Potentially Contaminated River Water on Agricultural Irrigated Soils in an Equatorial Climate. *Agriculture*, 7(7), 52; doi: 10.3390/agriculture7070052.
- Vásquez, A & Arellano, H. (2012). *Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de córdoba*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 923-961.
- Volverás, B. Amézquita, E. Campo, J. (2016). *Indicadores de calidad física de suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia*. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 17(3):361-377.
- Viteri, O. 2013. *Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de café y cacao en las provincias de Orellana y Sucumbíos: conservación y la explotación (en línea)*. Tesis Doctoral. Quito, Ecuador, ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental);

Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en repositorio.educacionsuperior.gob.ec/.../1/T-SENESCYT-000361.pdf

Wei, X., Hao, M., Shao, M. y Gale, W. J. (2006). Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil and Tillage Research*, 91(1-2), 120-130.

Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M. y Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1(1), 173.

## ANEXOS

### Anexo 1. Niveles críticos para interpretación de parámetros físicos.

Niveles Críticos		
Parámetro	Unidad	Valores
Densidad aparente (Da)	Mg m <sup>-3</sup>	1,2
Conductividad hidráulica saturada (Ksat)	cm h <sup>-1</sup>	0,5
Porosidad total (PT)	%	45
Porosidad de aireación (Pa > 15 µm)	%	10
Porosidad de retención (Pr < 15 µ)	%	25

Fuente: Pla, 2010

### Anexo 2. Rango de interpretación para parámetros químicos.

Rango de interpretación					
Parámetro	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Toxico
Aluminio (Al+H)	meq/100ml	<0,5	0,5-1,0	>1,5	
Aluminio intercambiable (Al)	meq/100ml	<0,3	0,3-1,0	>1,0	
Nitrógeno (NT)	%	<0,2	0,2-0,8	>0,8	>3,2
Materia orgánica (Mo)	%	<3,0	3,0-5,0	>5,0	
Fosforo (P)	ppm	<10	10-20,0	>20,0	
Potasio (K)	meq/100ml	<0,2	0,2-0,4	>0,4	
Calcio (Ca)	meq/100ml	<4,00	4,0-8,0	>8,0	
Magnesio (Mg)	meq/100ml	<1,0	1,0-2,0	>2,0	

Fuente: Bertsh, 1995

### Anexo 3. Niveles críticos para la interpretación de los análisis de suelo.

Niveles críticos para interpretar los análisis de suelos									
	Muy ácido	Acido	Medio Acido	Ligera mente Acido	Práctica mente Neutro	Ligera mente Alcalino	Mediana mente Alcalino	Alcalino	Neutro
pH	0,0<5,0	5,0-5,5	>5,5-6,0	>6,0-6,5	>6,5-7,5	>7,5-8,0	>8,0-8,5	>8,5	7,0
Elemt.	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Toxico				
P	ppm	<10	10-20	>20					
K	Meq/100ml	<0,2	0,2-0,38	>0,38					
Ca	Meq/100ml	<2	2-5	>5					
Mg	Meq/100ml	<0,5	0,5-1,5	>1,5					
S	ppm	<5	5-15	>15					
MO	%	<3	3-5	>5					
Al+H	Meq/100ml	<0,50	0,5-1,5	---	>1,5				
Al	Meq/100ml	<0,30	0,3-1,0	---	>1,0				

Fuente: (INIAP 2012)



**Anexo 4. Muestreo de suelo, análisis de laboratorio e identificación de especies forestales.**







